

SEMINAR NASIONAL TEKNIK MESIN POLITEKNIK NEGERI JAKARTA 2018

*“Peranan Inovasi Teknologi Manufaktur, Material,
dan Konversi Energi untuk Mewujudkan
Kemandirian Industri Nasional”*

PROSIDING A

Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. G.A. Siwabessy
Kampus Baru UI, Depok,
Jawa Barat 16242
<http://semnas.mesin.pnj.ac.id>



Depok, 17 Juli 2018

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah syukur senantiasa kita panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan Rahmat dan Berkah-Nya kepada kita semua sehingga hari ini Selasa 17 Juli 2018, kita dapat dipertemukan untuk mengikuti acara Seminar Nasional Teknik Mesin yang ke 7, sebagai agenda resmi tahunan di PNJ. Seminar Nasional Teknik Mesin PNJ melibatkan banyak pihak yang dipandang dapat mewakili peran akademisi, peneliti, praktisi industri dan pengusaha. Lebih jauh, seminar ini diharapkan mampu menjadi inspirasi dan motivasi bagi mahasiswa dan atau lulusan untuk tidak hanya mampu melakukan penelitian yang berkualitas namun menyuarkan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya manufaktur, material, konversi energi guna meningkatkan dan mengembangkan kompetensi civitas akademika di bidang ilmu pengetahuan dan teknologi terapan. Sehingga dapat berperan aktif dalam pengembangan industri nasional.

Pada Seminar Nasional ini, tema yang kami angkat adalah **“Peranan Inovasi Teknologi Manufaktur, Material, dan Konversi Energi untuk Mewujudkan Kemandirian Industri Nasional”**. Berkaitan dengan tema tersebut kami menghadirkan 4 narasumber sebagai pemakalah utama yang menyampaikan materi. Kami Ucapkan Selamat datang dan terimakasih kepada Prof. Dr Ir. Rochim Suratman (ITB), Dr. Danny M Gandana (BPPT), M Sholeh, ST, MT (IP) dan Bapak Oepoyo Prakoso (PT.HOLCIM). Kegiatan kami ini akan dilaksanakan selama dua hari dimana Hari pertama berupa Seminar Nasional, Pameran dan hari kedua Pelatihan Hidrolik disponsori oleh PT Aldik, Welding di sponsor oleh PT Lincoln dan dan Busi oleh PT NGK.

Tak lupa kami sampaikan Selamat datang dan terima kasih kepada perwakilan kolega kami dari Politeknik Negeri Banjarmasin, Politeknik Negeri Samarinda, Politeknik Negeri Makasar dan Politeknik Negeri Padang.

Seminar Nasional ini dapat terselenggara berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini ijin kami mengucapkan terima kasih kepada Direktur Politeknik beserta jajarannya serta para sponsor yang berpartisipasi dalam kegiatan seminar ini, para peserta seminar atas partisipasinya, serta pihak lain yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu. Penghargaan yang setinggi-tingginya kami sampaikan kepada segenap panitia yang telah bekerja keras demi suksesnya kegiatan ini.

Kami menyadari bahwa penyelenggaraan seminar ini masih banyak kekurangan baik dalam penyajian acara, pelayanan administrasi maupun keterbatasan fasilitas. Untuk itu kami mohon maaf yang sebesar-besarnya.

Akhir kata semoga peserta seminar mendapatkan manfaat yang besar dari kegiatan ini sehingga mampu mewujudkan atmosfer riset yang baik dan budaya riset yang tangguh, berkelanjutan dan berkualitas sesuai dengan Kebutuhan Industri. Kami mengucapkan SELAMAT MENGIKUTI SEMINAR....dan Terima kasih

Ketua Panitia Seminar Nasional Teknik Mesin
Politeknik Negeri Jakarta 2018

Dr. Tatun Hayatun Nufus

Daftar Isi

PERANCANGAN PRODUK

1. Rancang Bangun <i>Press Tool</i> Untuk Lengan <i>Tool Box</i> 2 Susun Di Politeknik Negeri Jakarta	2
2. Rancangan Alat Bantu Pembersih Compressor Blade Pada Rotor Turbin Gas Mitsubishi M701f.....	9
3. Rancang Bangun Dan Estimasi Biaya Pembuatan <i>Progressive Tool Stiffening Leg Mounting</i> Di PT Bukaka Teknik Utama Unit <i>Steel Tower</i> Untuk Plat Dengan Ketebalan 12 [Mm]	18
4. Rancang Bangun Rokotali (<i>Roaster</i> Kopi Tanpa Listrik) Dengan <i>Evacuated Tube Solar Collectors</i>	28
5. Modifikasi Sistem Slide Gate 392-Sg1/2/3 Di Under Gas Conditioning Tower	36
6. Optimalisasi Putaran Generator Pada Turbin Angin Horizontal Menggunakan Transmisi Bertingkat	47
7. Perancangan Fasilitas Jembatan Untuk Memindahkan <i>Main Drive Motor Cement Mill</i>	56
8. Rancang Bangun Perkakas Tekan Untuk Membuat Koin.....	66
9. Rancang Bangun Mesin Pembersih Batok Kelapa Genjah.....	73
10. Rancang Bangun Perkakas Tekan Pembuat Collar Horn Set Di Pt. Mada Wikri Tunggal	83
11. Rancang Bangun Konveyor Pendorong <i>Trolley</i> Seberat 5 Ton.....	94
12. Rancang Bangun Sistem Otomatisasi Pada Mesin <i>Vacuum Forming</i>	103
13. Perancangan Ulang Sistem Proteksi Motor Dan Distribusi Tenaga Batching Plant Narogong	111
14. Rancangan Mesin Pencetak Bakso Dengan Kapasitas 1000 [Butir/Jam] Untuk Perusahaan X	121
15. Rancang Bangun Sistem Mesin Penggerak Tanpa Bahan Bakar	132
16. Rancang Bangun Simulator Sistem Proteksi <i>Lng Storage Tank System</i>	139
17. Rancang Bangun Prototipe Mobil Kimia Dengan Sumber Energi H_2O_2	148
18. Rancang Bangun Alat Pemisah Minyak Dan Air Dengan Electro Coagulant	156
19. Rancang Bangun Unit Pemurnian Limbah Yang Mengandung Minyak & Asam Lemak Menjadi Bahan Baku Biodiesel Plant	166
20. Analisis Sistem Getaran Paksa Satu Derajat Kebebasan Pada Alat Pengering Tipe Rak.....	174

REKAYASA MATERIAL

21. Modifikasi Roda <i>Hoist Gantry Crane</i> Kapasitas 3 Ton.....	182
22. Pengaruh Fraksi Volume Dan Orientasi Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berbahan Serat Rami Epoxy Sebagai Bahan Alternatif Komponen Otomotif.....	191

MANUFAKTUR DAN PROSES PRODUKSI

23. Penyempurnaan <i>Rotary Dolly</i> Dengan Konsep <i>Semi-Automation</i>	198
24. Studi Kasus Penyebab <i>Blade</i> Patah Pada Mesin <i>Re-Weaving</i> Omni Plus Tc 800 Di Pt. X.....	209
25. Otomatisasi Sistem Pengisian Air Pada Tangki <i>Water Injection</i> 562-Ij1 Untuk <i>Cement Mill</i>	216
26. Perancangan Sistem Pneumatik Dan Kontrol <i>Knife Gate Valve Burner</i> Di Industri Semen	226
27. <i>Redesign</i> Pondasi (<i>Base</i>) Mesin <i>Blower</i> Dan Motor V94-B12.....	236
28. Modifikasi <i>Ejector Pneumatic Conveyor</i> V92-Rf1 Pt. Holcim Indonesia Tbk Pabrik Cilacap.....	246
29. Modifikasi <i>Purging Pipe</i> Untuk Meningkatkan Performa 432-Bf1	254
30. Pemrograman Hmi Magelis Gto 5310 Series Di Palletizer (67b-Pa1).....	262

PERAWATAN DAN PERBAIKAN

31. Perbaikan <i>Batch Extractor</i> Pada Sistem Pengembalian Material <i>Sampler Raw Meal</i>	271
32. Perbaikan Posisi <i>Air Blaster</i> Untuk Mengurangi <i>Coating</i> Pada <i>Kiln Inlet</i> Pt Holcim Indonesia Tbk....	281
33. Perbaikan Sistem Kerja Pada Line Recycle Sandcore	291
34. Preventive Maintenance Pada Mesin Vacuum Forming Terhadap Hasil Inner Liner Di Pt.Y	301
35. Perencanaan Preventive Maintenance Mesin Press Komatsu L4s2000-Mb Dengan Metode Reliability Centered Maintenance.....	309
36. Perbaikan Support Tail Pulley Pada 291-Bc3 Untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi Pt. Holcim Indonesia Tbk Tuban Plant	315
37. Perawatan Turbin Angin Di Kampung Bungin Bekasi.....	325

KONVERSI ENERGI

38. Analisis Perbandingan Heat Exchanger Tipe Plate-Frame Dan Shell And Tube Pada Intercooler334
39. Analisis Distribusi Panas Pada Alat Pengering Briket Arang Menggunakan *Cfd*.....346
40. Proses Produksi Biogas Dari Sampah Organik Rumah Tangga Di Wilayah Duren Mekar355
41. Mini Plant Bioethanol Singkong Dengan Pemurnian Distilasi Sieve Tray Dan Dehidrasi Cao364

TEKNIK DAN MANAJEMEN INDUSTRI

42. Restrukturisasi *Role* Pada *Sap* Berbasis *Segregation Of Duties*371

PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

43. Analisis Efektivitas Heat Exchanger Generator Thrust Bearing Oil Cooler Unit 7 Plta Cirata.....381
44. Pengaruh Plugging Tube Terhadap Kinerja Kondensor St1.0 Blok 1 Pltgu Muara Karang391
45. Rancangan Manhole Hrsg Di Pt. Indonesia Power Upjp Grati.....398
46. Analisis Dampak Overhaul Terhadap Kinerja Turbin Uap Di Pltp Darajat.....408
47. Analisis Pengaruh Perubahan Nilai Kevakuman Kondensor Terhadap Efisiensi Turbin Uap.....416
48. Optimasi Efisiensi Pltg Pada Kondisi Keterbatasan Bahan Bakar.....423
49. Studi Vibrasi Pada Induced Draft Fan Di Pltu Indramayu Unit 1432
50. Analisa Perbedaan Efisiensi Antara Hrsg 1 Dan Hrsg 2 Pltgu Cilegon vii
51. Analisis Perhitungan Penambahan Pada Jalur Konveyor 1b – 2b Pltu Paiton Unit 9447
52. Analisis Penyebab Kegagalan Pembacaan Flame Detector Pada Turbin Gas Di Pltgu Priok457
53. Kajian Risiko Kegagalan Operasional Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas Dan Uap (Pltgu).....466
54. Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Dan Biaya Produksi Listri
.....474
55. Rancang Bangun Mesin Vacuum Forming484
56. Analisis Mekanisme Kegagalan Pada Pipa Boiler Menggunakan Metode Root Cause Failure Analysis
(Rcfa)494
57. Analisis Performa Air Heater Pltu Batu Bara Berdasarkan Perhitungan Asme Ptc 4.3502
58. Analisis Pengaruh Efektivitas Brine Heater Terhadap Performa Desalination Plant Unit 2 Pltgu Priok511
59. Analisis Pengaruh Kualitas Batu Bara Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap.....520
60. Analisis Pengaruh Temperatur Air Laut Terhadap Efektivitas Perpindahan Panas Condenser530
61. Analisis Isolasi Dan Desain Modifikasi Pada Expansion Joint Low Pressure Bleed Valve540
62. Analisis Pengaruh Udara Ambient Terhadap Perpindahan Panas Pada Gas Turbine Cooling Air Cooler547
63. Analisis Pengaruh Turbine Washing Terhadap Performa Turbin Uap Dan Daya Pembangkitan.....553
64. Analisa Head Losses Pada Circulating Water Pipe Line Pltgu Perak Grati.....561

KAJIAN PENERAPAN TEKNOLOGI

65. Analisa Perbandingan *Nphr* Saat *Mill E In Service* Dan *Out Service*568
66. Pengaruh Penggunaan *Steel Grit G25* Pada Proses *Sandblasting* Baja Karbon Rendah Jis G3101 Ss400
.....580
67. Modifikasi Bucket Elevator 536 Pada Pt X.....589
68. Analisis Perbandingan *Heat Exchanger* Jenis *Shell And Tube* Dan *Plate* Pada St.....598
69. Optimasi *Channel Xrd Arl9900* Sebagai Metode Sekunder Untuk Analisa *Limestone* Dalam Semen ..609
70. Analisa Pengaruh Kinerja *Steam Jet Ejector* Terhadap Kevakuman Kondensor618
71. Otomatisasi Sistem Pengisian Tangki Air Di Area *Gas Conditioning Tower*625
72. Prototipe Smart Traffic Light System.....636
73. Inovasi Rancangan *Mobile Pig Receiver* Untuk Diameter *Pipeline 10”* Sampai *16”*646
74. Perancangan Sistem Pendeteksian Kantong Kosong Pada 662-Bt1 Untuk Mengurangi Frekuensi Bag
Gap Pada 672-Pa1660
75. Kinerja Penggalan Kapal Keruk Bwd Di Perairan Pulau Kundur670
76. Modifikasi Cover Menjadi Infrared Window Motor 362-Md1 Untuk Inspeksi Thermograph Lebih Aman
Dan Efisien671
77. Analisa Pengembangan Sistem Synchromesh Untuk Peningkatan Efisiensi Pada Kendaraan Listrik...679

PERANCANGAN PRODUK

**RANCANG BANGUN *PRESS TOOL* UNTUK LENGAN *TOOL BOX 2* SUSUN DI
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

Bagas Muhammad Khatami¹, Daryadi Sumarno¹, Fadlan Khalqi¹, Lita Sapitri¹
¹*Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta,*
Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424.
Telp: +6221 7270044. Fax: (021) 7270034
Email: bagaskhatami@gmail.com

Abstrak

Rancang bangun ini bertujuan untuk membuat alat press tool lengan tool box 2 susun di bengkel Teknik mesin, Politeknik Negeri Jakarta. Pembuatan lengan tool box 2 susun di bengkel untuk praktik kerja metal forming dilakukan secara manual menggunakan alat potong gergaji dan mesin bor, ini berdampak tidak presisi terhadap hasil yang dibuat. Untuk memperbaiki hal tersebut perlu adanya alat untuk pembentukan dan pemberian lubang lengan tool box 2 susun, yaitu membuat press tool untuk memudahkan pembentukan radius dan lubang pada plate sehingga presisi. Metodologi yang digunakan adalah merancang bangun press tool lengan tool box 2 susun berdasarkan hasil identifikasi dimensi dari lengan tool box sehingga dapat dilakukan proses rancang bangun press tool untuk menghasilkan lengan tool box yang presisi.

*Kata kunci: **press tool, lengan tool box, presisi***

Abstract

The goal of this implementation is to made pressing machine arm-tool box two stack at workshop of Mechanical Engineering State Polytechnic of Jakarta. Previously, the practice of making arm-tool box two stacks at workshop is manually using chainsaw and drilling machine. The result of this practice did not reach the exact precision. To overcome this problem, it needs machine to perform and give holes arm-tool box two stacks. Therefore, making of pressing machine will solve the problem to form precision radius and hole on plate. The use of methodology is implementing pressing machine arm-tool box two stacks based on dimension goal identification from arm-tool box with the result of machine which give perfect precision arm-tool box.

*Keywords: **pressing machine, arm-tool box, precision***

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

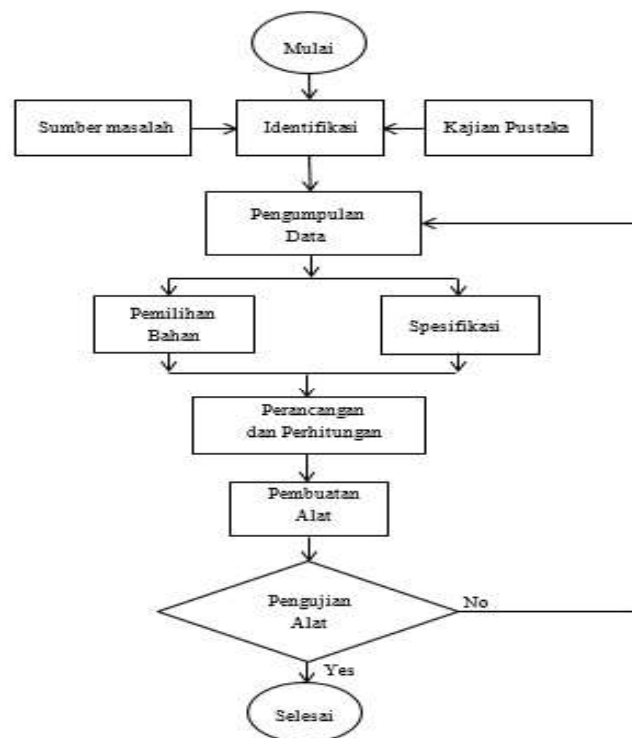
Tool box 2 susun merupakan salah satu produk yang dibuat oleh mahasiswa Politeknik Negeri Jakarta dalam mata kuliah metal forming. Tool box 2 susun dibuat dengan cara manual melalui proses banding, pemotongan plate, dan pengepressan, fungsi tool box 2 susun ini sebagai wadah atau tempat penyimpanan alat-alat dsb. Tool box 2 susun terdiri dari beberapa bagian atau part yang kemudian proses assembly dengan menggunakan las titik. Diantaranya terdiri dari Tool Box Utama, Tool Box Atas 1 & 2, dan Lengan Tool Box 2 Susun. Tool Box utama dan Tool Box Atas 1 & 2 masing-masing memiliki berat profil yaitu 1,74786 [kg] dan 1,65416 [kg], serta memiliki volume masing-masing 222657,6 [mm³] dan 210580,04 [mm³].

Lengan Tool Box 2 susun adalah bagian yang menyambungkan antara tool box utama dengan tool box atas 1 & 2. Lengan tool box 2 susun sebagai engsel yang dibuat secara manual melalui proses pembentukan radius dan pengeboran untuk lubang. Lengan tool box terbuat dari lembaran baja St 42 dengan tebal 1,8 [mm] yang dipotong berukuran 95 [mm] x 16 [mm] dengan sisi kiri dan kanannya membentuk radius 8 [mm].

Pada proses pembuatan lengan tool box 2 susun biasanya dibentuk secara manual menggunakan peralatan perkakas tangan yang berada di Bengkel Mesin, Politeknik Negeri Jakarta tapi itu membutuhkan waktu yang lebih lama dan

hasilnya tidak presisi. Maka dari itu penulis membuat *press tool* untuk mempermudah pembuatan bentuk radius dan lubang pada pembuatan lengan *tool box* 2 susun. Penelitian ini bertujuan merancang bangun *press tool* untuk mempermudah pembentukan radius dan lubang pada lengan *tool box* 2 susun. Serta produksi *tool box* 2 susun ini dapat berlangsung efektif dan efisien.

II. METODE



a. Identifikasi Masalah.

Berdasarkan sumber masalah dan kajian pustaka, maka identifikasi masalah pada rancang bangun *press tool* lengan *tool box* adalah ketidak presisian dari lengan *tool box* karena dikerjakan secara manual.

b. Sumber Masalah.

Sumber masalah diperoleh melalui observasi di bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta berupa proses pengerjaan lengan *tool box* secara manual yang menimbulkan ketidak presisian dimensi antara lubang *tool box* bawah dengan lubang *tool box* atas dan bagian radius untuk pembuatan lengan *tool box*.

c. Kajian Pustaka.

Kajian Pustaka didapat oleh penulis dengan mencari tinjauan pustaka melalui FIBRO *Standard Catalogue* 2011, dan data di internet berupa dimensi standart *top plate*, *bottom plate*, *dies*, *punch*, *shank*, *pillar*, *bolt*, dan *pin*. Data tersebut menjadi referensi yang mendukung proses identifikasi.

d. Pengumpulan Data.

Pengumpulan Data didapat berupa dimensi lengan *tool box* 2 susun dan rumus perhitungan rancang bangun *press tool* yang diperoleh dari identifikasi masalah untuk merancang bangun *press tool* sebagai alat yang berfungsi menghasilkan lengan *tool box* 2 susun.

e. Spesifikasi.

Berdasarkan hasil perhitungan dan acuan standart pembuatan *top plate* , *bottom plate* , *dies* , *punch* , *shank* , *pillar* , *bolt* , dan *pin* (FIBRO Standard Catalogue 2011), penulis menentukan dimensi *top plate* , *bottom plate* , *dies* , *punch* , *shank* , *pillar* , *bolt* , dan *pin*.

f. Pemilihan Bahan

Material lengan *tool box* dan analisa beban *tool box* atas akan menentukan spesifikasi material *press tool*. Material lengan *tool box* yang digunakan di bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta menggunakan *plate* St 42. Sehingga *dies* dan *punch* menggunakan bahan SKD 11 yang dikeraskan pada 60-62 [HRC].

g. Perancangan dan Perhitungan.

Diperoleh perhitungan gaya pada proses *pieching* dan *notching* yang akan menentukan dimensi untuk merancang bagian – bagian *press tool* berdasarkan standart pembuatan *top plate* , *bottom plate* , *dies* , *punch* , *shank* , *pillar* , *bolt* , dan *pin* (FIBRO Standard Catalogue 2011).

h. Pembuatan Alat.

Setelah melakukan perencanaan dan perhitungan alat yang akan dibuat, kemudian kelompok penulis membeli *part* – *part* yang siap pakai dan *material* dasar sesuai dengan hasil pemilihan bahan untuk proses rancang bangun di bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

i. Pengujian Alat.

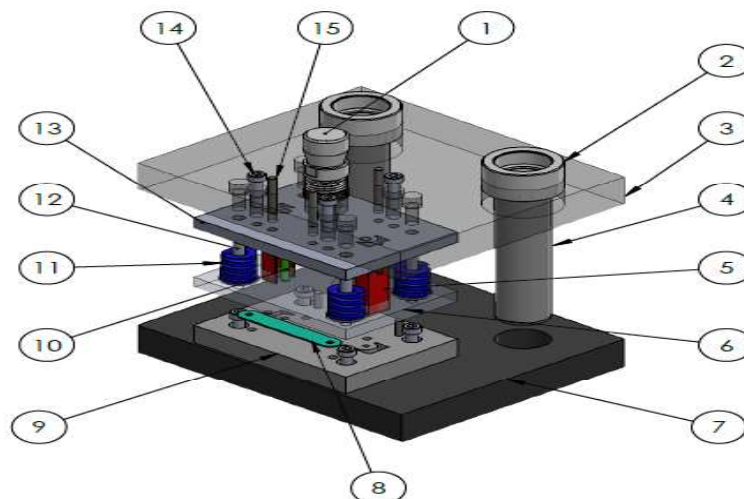
Hasil Pengujian berupa *plate* yang akan diproses *pierching* dan *notching* membentuk lengan *Tool Box* 2 susun. Pengujian dilakukan di bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta. Jika alat yang dibuat dalam pengujian mengalami kerusakan atau gagal maka proses perbaikan dilakukan kembali dari metodologi pengumpulan data.

III. ANALISA RANCANGAN

Analisa rancang bangun *press tool* dalam pembuatan lengan *tool box* 2 susun adalah perhitungan dan *design* dari pembuatan *press tool*. Berikut penulis melampirkan.

DESIGN PRESS TOOL

Berikut adalah *design* dan bagian – bagian yang ada pada *press tool* lengan *tool box* 2 susun, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. 1. 1 *Design press tool* lengan *tool box* 2 susun.



Gambar 3. 1 Design Press Tool lengan tool box 2 susun

1. **Shank**

Shank adalah bagian perkakas tekan yang berfungsi untuk mendorong *top plate* pada saat pemotongan dan mengangkat *top plate* setelah pemotongan berlangsung dengan diameter 32 [mm].

2. **Bush**

Bush dengan diameter luar 58 [mm] menggunakan *Standard FIBRO Headed Guide Bushes to DIN 9831/ISO 9448-6, sintered ferrite carbonitrided, long-term lubrication.*

3. **Top Plate**

Ukuran *Top plate* 260 x 220 x 30 [mm] dihitung sesuai *Standard FIBRO Alumunium Die Sets similar DIN 9868/ISO 11415 without Stripper.*

4. **Pillar**

Ukuran Pilar adalah diameter 40 [mm] dan panjang 200 [mm] didapatkan dari *Standard FIBRO Guide Pillars DIN 9825/ISO 9182-2.*

5. **Punch Pierching**

Punch Pierching adalah bagian yang berpasangan dengan alat potong. Diameter 5 [mm] dan Bahan yang digunakan biasanya baja krom yang dikeraskan pada 60 sampai 62 (HRC).

6. **Plate Stripper**

Plate Stripper adalah bagian yang berfungsi sebagai pemegang benda kerja sekaligus penahan *spring* dan pengarah pada *punch* dengan ukuran 150 x 110 x 16 [mm] menyesuaikan *dies.*

7. **Bottom Plate**

Ukuran *Top plate* 260 x 220 x 30 [mm] dihitung sesuai *Standard FIBRO Alumunium Die Sets similar DIN 9868/ISO 11415 without Stripper.*

8. **Benda Kerja**

Berupa *plate* setebal 1,8 [mm] dengan lebar 16 [mm] dan bahan yang digunakan adalah plate St. 42.

9. **Dies**

Dies adalah pasangan dari *punch* sebagai komponen pembentuk produk. Bahan yang biasa digunakan adalah DF 3, SKD 11 yang dikeraskan pada 60-62 [HRC].

10. **Punch Notching**

Punch Notching adalah bagian yang berfungsi membentuk benda kerja yang terpasang di *top plate.* Bahan yang biasa digunakan adalah DF 3, SKD 11 yang dikeraskan pada 60-62 [HRC].

11. **Spring**

Merupakan komponen yang berfungsi sebagai pendorong *top plate* setelah melakukan proses *press.*

12. **Baut dan Tiang Spring**

Baut dan Tiang *Spring* adalah bagian yang berfungsi sebagai pengikat antar komponen.

13. **Punch Holder Plate**

Plate Pemegang *punch* berfungsi untuk memegang *punch* agar posisi *punch* tetap pada tempatnya.

14. **Pin Penepat**

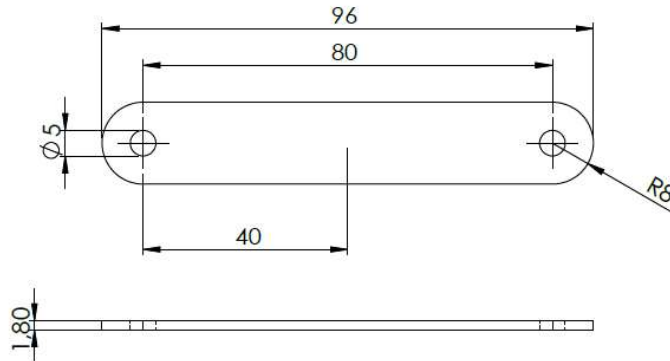
Pin Penepat adalah bagian yang berfungsi sebagai penepat pemasangan dan pencegah tergesernya *dies* dari *bottom plate* serta *punch* dari *top plate.* Bahan yang biasa digunakan adalah baja menengah yang dikeraskan.

15. **Baut Inbus**

Baut *Inbus* adalah bagian komponen yang berfungsi sebagai pengikat antar komponen. Dalam hal ini *dies* dengan *bottom plate* serta *punch* dengan *top plate*.

ANALISA PRESS TOOL MEMBUAT LENGAN TOOL BOX

Analisa perhitungan pembuatan *dies* dengan menghitung luasan potong dan gaya potong yang akan terjadi pada lengan *tool box* 2 susun dalam proses *notching* dan *piercing* Untuk bahan baja St 42 dan tebal 1,8 [mm].



Gambar 3. 2 Benda Kerja

- Piercing

$$A = C \times t$$

$$A = (2 \cdot \pi \cdot D) \times t$$

$$A = (2 \cdot \pi \cdot 5) \times 1,8$$

$$A = 56,55 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_p = 0,8 \times A \times \sigma_m$$

$$F_p = 0,8 \times 56,55 \text{ [mm}^2\text{]} \times 42 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

$$F_p = \underline{1900,08 \text{ [kg]}}$$

- Notching

$$A = C \times t$$

$$A = ((4xp + 4xl) - \pi \cdot D) \times t$$

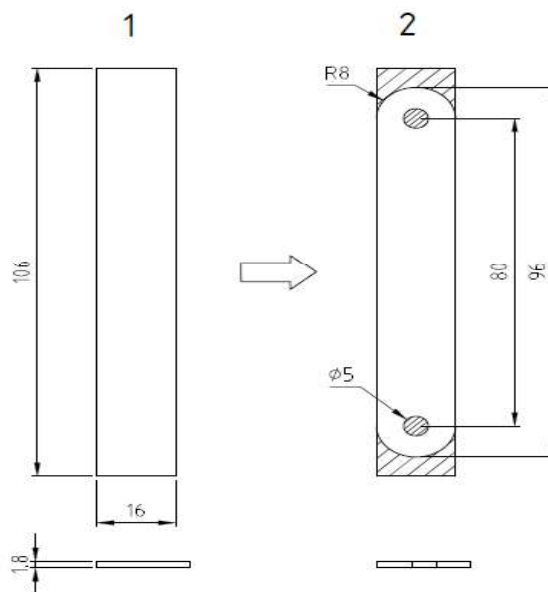
$$A = ((16 + 13) - \pi \cdot 16) \times 1,8$$

$$A = 241,68 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$F_p = 0,8 \times A \times \sigma_m$$

$$F_p = 0,8 \times 241,68 \text{ [mm}^2\text{]} \times 42 \text{ [kg/mm}^2\text{]}$$

$$F_p = \underline{8120,45 \text{ [kg]}}$$



Gambar 3. 3 Plate sebelum dan sesudah proses press

- Gaya Pegas Stripper

$$F_{ps} = \left(\frac{5}{20}\right) \% \times F_{total}$$

$$F_{ps} = 0,25 \% \times 10020,53 \text{ [kg]}$$

$$F_{ps} = \underline{2505,13 \text{ [kg]}}$$

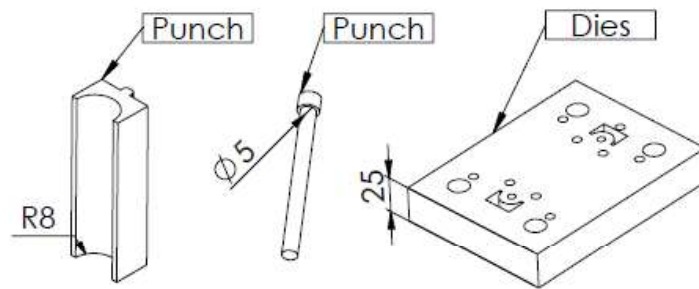
- Tebal Dies

$$H = \sqrt[3]{F_{\text{total}}}$$

$$H = \sqrt[3]{1900,08 \text{ [kg]} + 8120,45 \text{ [kg]}}$$

$$H = \sqrt[3]{10020,53 \text{ [kg]}}$$

$$H = \underline{21,56 \text{ [mm]}}$$



Gambar 3. 4 Design Punch Pierching, Punch Notching, and Dies

Design Dies diperoleh melalui proses menghitung luasan potong dan gaya potong yang akan terjadi pada lengan *tool box 2* susun dalam proses *Notching* dan *pierching* dengan hasil H (tebal *dies*) = 21,56 [mm] = 25 [mm] dan *Design Punch* mengikuti bentuk benda kerja yang akan punch dan disesuaikan dengan bentuk *dies*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3. 1. 3 *Design Punch Pierching, Punch Notching, and Dies*.

IV. KESIMPULAN

1. Bahan yang digunakan untuk benda kerja lengan *tool box* adalah St 42 dengan tebal 1,8 [mm], *dies* dan *punch* menggunakan bahan SKD 11 yang dikeraskan pada 60-62 [HRC].
2. Hasil analisa rancang yang di peroleh penulis berupa tebal *dies* yang akan digunakan adalah 21,56 [mm] = 25 [mm].
3. Penulis memperoleh hasil analisa rancang untuk membuat *press tool* yang menghasilkan lengan *tool box 2* susun.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Standar Fibro 2011. "FIBRO Standard Catalogue" . 20 Mei 2018. www.FIBRO.com
- [2] Rony Sudarmawan T. Tekonologi *Press Dies*. Kansius. 2009.
- [3] Vukota Boljanovic, PH. D. Sheet Metal Forming Process and Die Design. New York 2016.

RANCANGAN ALAT BANTU PEMBERSIH COMPRESSOR BLADE PADA ROTOR TURBIN GAS MITSUBISHI M701F

Handi Prastiyo Tri Pamungkas¹, Ade Sumpena²,

¹Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424

Telp : +6221 7270044 Fax : (021)7270034

E-mail : handiprastiyo@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Pada kegiatan Major Inspection di UPJP Priok Blok 3.1 dilakukan proses pembersihan pada bagian sudu yang terletak pada bagian compressor, atau disebut compressor blade, yang masih terpasang pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F. Proses pembersihan sudu masih dilakukan secara manual, menggunakan kain majun dan kain scotch brite. Ada beberapa kesulitan yang dihadapi pekerja saat membersihkan sudu tersebut, yaitu jarak antar sudu yang cukup sempit, serta banyak pekerja yang tangannya terluka, akibat tergores sisi-sisi sudu yang tajam sehingga mengganggu jalannya proses pembersihan. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, maka dibuatlah rancangan alat bantu pembersih compressor blade, untuk mempermudah proses pembersihan bagian tersebut. Metodologi yang digunakan ialah mendesain alat bantu pembersih compressor blade dimana pada rancangan alat tersebut menggunakan motor listrik untuk memutar scotch brite disc, dan pada pemegang disc tersebut juga terdapat engsel untuk memudahkan proses pembersihan. Selanjutnya dilakukan perhitungan teknik meliputi perhitungan gaya gesek, kekuatan rangka, material, kemudian dilakukan analisis serta simulasi kerja alat pada software Solidworks. Rancangan alat didesain berdasarkan ukuran jarak serta lebar sudu terkecil, sehingga dapat menjangkau bagian compressor blade yang terkecil. Hasil perencanaan yang diperoleh untuk rancangan alat bantu pembersih compressor blade pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F adalah sebagai berikut: panjang 1465 [mm], diameter scotch brite disc 5 [inci], daya motor yang digunakan 350 [watt], gagang menggunakan pipa stainless steel diameter 1 [inci]. Dengan dirancangnya alat bantu tersebut, diharapkan dapat membantu proses pembersihan compressor blade pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F serta meminimalisir adanya resiko kecelakaan kerja.

Kata Kunci: Compressor Blade, Motor Listrik, Scotch Brite Disc

Abstract

In the Major Inspection activity at UPJP Priok Block 3.1 is performed on the blade which is mounted on the compressor, or called compressor blade, which is still mounted on the Mitsubishi M701F turbine rotor gas. The process of cleaning the blades is still done manually, using a majun fabric and scotch brite disc. There are several types of problems, namely the distance between the blades is quite narrow, also many workers are injured, because scratched by the sharp edges of compressor blade, so disturb the cleaning process. To tackle the problem, it was made to help clean the compressor blade, to clean up the cleaning process of that part. The methodology used to design tools for cleaning the blades on these devices uses an electric motor to rotate the scotch brite disc, and on the disc used for the cleaning process. Furthermore, the calculation of techniques that include force, strength, material, then performed analysis and measurement of the performance of Solidworks devices. The design of the tool is designed based on the smallest distance and width of the blade, can be used the appropriate wind compressor parts. The result of compressor blade cleaner tool on gas turbine rotor Mitsubishi M701F are: 1465 [mm] length, 5 [inch] scotch brite disc diameter, motor power 350 [watt], handle using stainless steel pipe diameter 1 inch. With the design of these tools, it can help to cleaning the blade compressor on the Mitsubishi M701F turbine rotor gas and also minimize the risk of work accident.

Keywords: Compressor Blade, Electric Motor, Scotch Brite Disc

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kegiatan *Major Inspection* merupakan kegiatan inspeksi skala besar yang biasa dilakukan pada mesin pembangkit listrik. *Major Inspection* ditujukan untuk mengecek dan menginspeksi seluruh komponen dari turbin gas, dimulai dengan membuka silinder turbin gas dan memindahkan rotor turbin gas. Perbaikan, penggantian dan atau pembaharuan komponen, bagian, dan sistem diperlukan untuk menjaga keamanan operasi hingga jadwal inspeksi berikutnya.

Pada pengecekan tersebut juga dilakukan pembersihan pada bagian sudu (*blade*) yang terpasang pada rotor turbin. Posisi sudu tersebut terletak pada bagian *compressor*, yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dan temperatur udara yang dihisap ke dalam turbin, untuk dilakukan pembakaran dengan bahan bakar. Proses pembersihan bagian tersebut masih dilakukan secara manual, menggunakan kain majun dan kain *scotch brite*. Ada beberapa kesulitan yang dihadapi pekerja saat membersihkan sudu tersebut. Pertama, jarak antar sudu yang satu dengan sudu yang lain rata-rata memiliki jarak yang cukup sempit, sehingga menyulitkan dalam proses pembersihan. Kedua, saat proses pembersihan tak jarang banyak keluhan dari pekerja karena tangannya terluka, akibat tergores sisi-sisi sudu yang tajam, sehingga mengganggu jalannya proses pembersihan. Dampaknya adalah proses pembersihan menjadi lebih lama dan berdampak pula pada kerugian materil perusahaan akibat lamanya proses *Major Inspection*.

Melihat adanya kendala yang dihadapi pekerja serta banyaknya keluhan pekerja akibat tangannya terluka saat membersihkan sudu kompresor (*compressor blade*), maka dirancanglah suatu alat bantu yang dapat mempermudah dan mempercepat proses pembersihan bagian tersebut serta menghindari resiko kecelakaan kerja.

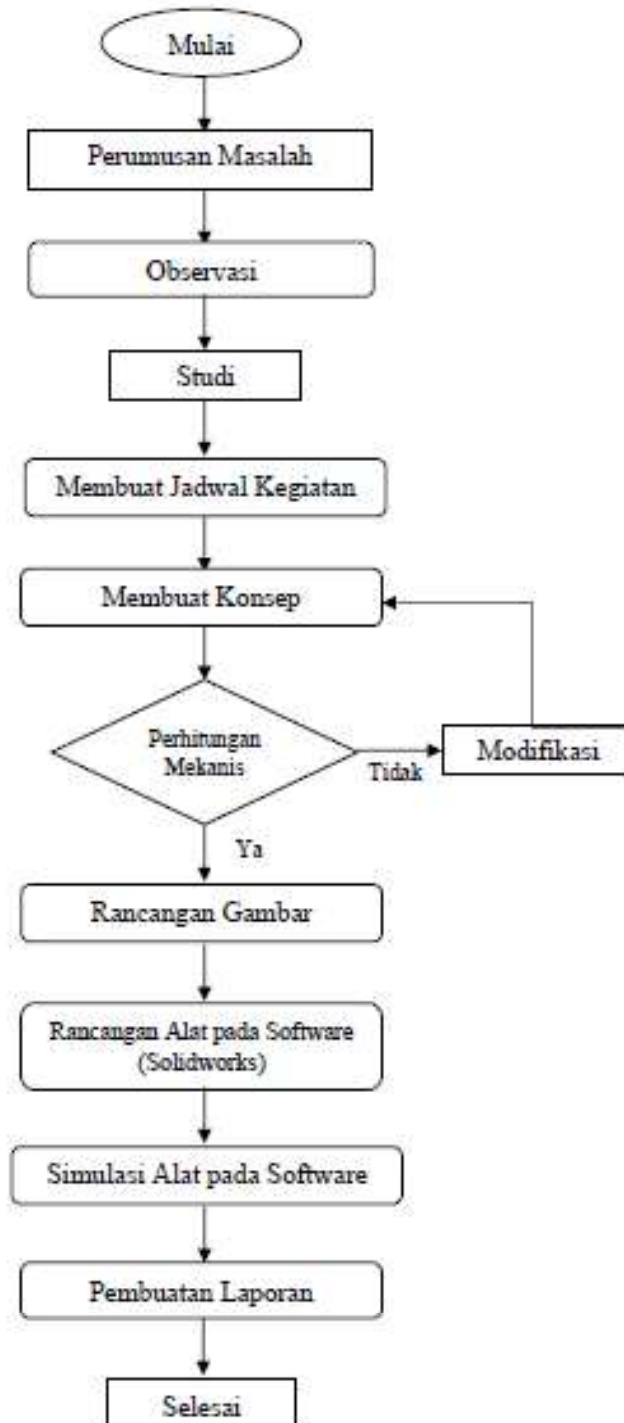
1.2 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan penulisan dari karya tulis ini adalah :

1. Dapat merancang alat bantu pembersih *compressor blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F
2. Untuk memudahkan dan mempercepat proses pembersihan *compressor blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F dari row 1 sampai row 17 pada saat *Major Inspection*.
3. Meminimalisir adanya resiko kecelakaan kerja akibat tergores sisi-sisi sudu yang tajam saat proses pembersihan *compressor blade*.

II. METODE PENELITIAN

Rancangan alat bantu ini dilaksanakan sesuai dengan diagram alir berikut ini :



Gambar 1 – Diagram Alir Perancangan Alat Bantu

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Observasi

Pada sub bab ini akan dibahas hasil observasi dan penelitian di PT Indonesia Power UPJP Priok Blok 3.1:

a. *Compressor Blade*

Compressor berfungsi untuk mengkompresikan udara yang berasal dari *air inlet* untuk proses pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar atau *Combustion Chamber*. Kompresor yang biasanya dipakai pada turbin gas adalah *axial compressore* dan *centrifugal compressore*. Pada *axial compressore*, udara mengalir paralel terhadap sumbu rotor. Rotor ini memiliki beberapa tingkat sudu, yang mengompresikan aliran udara secara aksial sehingga diperoleh udara yang bertekanan tinggi. Bagian ini tersusun dari *wheels*, *stubshaft*, *tie bolt* dan sudu-sudu yang disusun kosentris di sekeliling sumbu rotor.

Pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F ini memiliki 17 tingkat sudu yang mengompresikan aliran udara secara aksial dari 1 [atm] menjadi 17 kalinya sehingga diperoleh udara yang bertekanan tinggi.

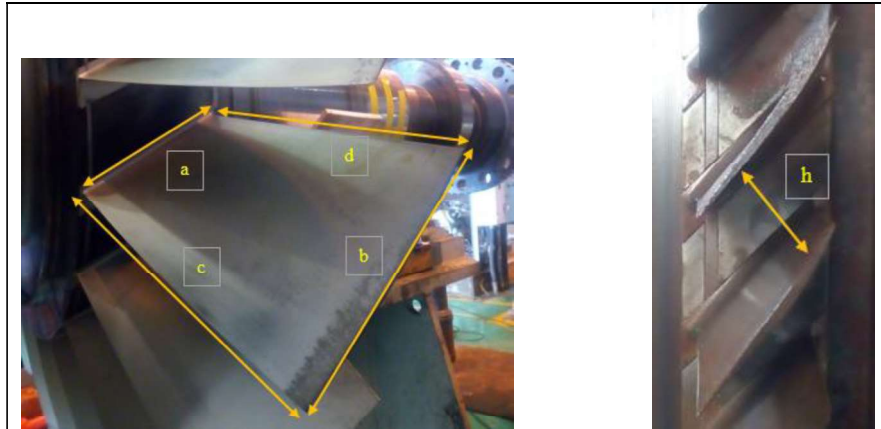


Gambar 2 - *Compressor blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F

Pada kompresor aksial, bentuk dari sudu-sudu rotor mendekati bentuk dari *airfoils*, yang mendorong udara ke sudu tetap. Sedangkan pada sudu tetap, bentuknya menyerupai bentuk dari *diffusor*. *Diffusor* berfungsi untuk memperbesar tekanan dan menurunkan kecepatan dari udara (prinsip Bernoulli Aparatus). Sudu-sudu pada kompresor harus bersih dan sepresisi mungkin. Sudu yang kotor dapat menurunkan performa dari kompresor itu sendiri.

b. Jarak dan ukuran *Compressor Blade* pada Row 1 hingga Row 17

Pada observasi ini, dilakukan pengukuran jarak serta ukuran *compressor blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F dari *row 1* hingga *row 17*. Karena keterbatasan data ukuran yang ada, maka untuk mendapatkan data jarak dan ukuran dari *compressor blade* dilakukan pengukuran secara manual menggunakan rol meter, mistar dan jangka sorong. Besaran nilai dari hasil pengukuran tersebut merupakan hasil ukuran pendekatan atau taksiran terdekat. Berikut data ukuran yang didapat setelah proses pengukuran dalam satuan [mm]:



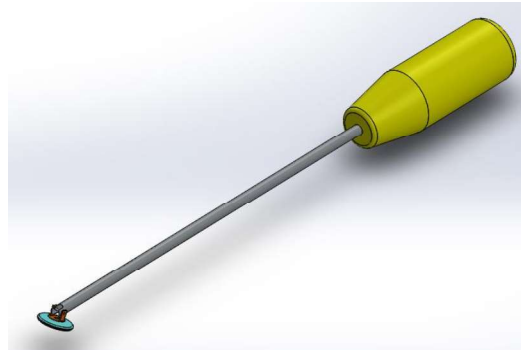
Row	a	b	c	d	h
1	315	340	560	595	160
2	263	263	480	495	130
3	230	230	410	433	124
4	174	174	362	375	88
5	180	180	310	330	98
6	170	170	263	280	93
7	142	142	223	235	77
8	130	130	198	205	53
9	120	120	171	182	52
10	95	95	160	165	45
11	94	94	145	153	44
12	84	84	130	135	41
13	68	68	120	123	34
14	73	73	108	113	35
15	67	67	93	99	34
16	57	57	84	88	27
17	57	57	78	78	27

Tabel 1 – Data pengukuran *compressor blade* row 1 sampai row 17

3.2 Konsep Rancangan Alat Bantu Pembersih *Compressor Blade*

Alat bantu ini dirancang untuk dapat membersihkan permukaan sudu kompresor (*compressor blade*) turbin gas Mitsubishi M701F, dengan ukuran lebar permukaan sudu yang bervariasi, dari row 1 sampai row 17, dengan row paling terakhir (row 17) memiliki lebar permukaan terkecil, yaitu 57 [mm]. Jarak antar satu sudu dengan sudu lainnya juga bervariasi, dengan jarak antar sudu terkecil pada row 17 sebesar 27 [mm]. Sehingga penentuan dimensi dari rancangan alat ini didasarkan pada acuan jarak tersebut, agar dapat dioperasikan hingga row yang paling terakhir (row 17). Untuk dapat membersihkan permukaan *compressor blade* dengan baik, maka pada rancangan alat ini menggunakan kain abrasif jenis *scotch brite disc*.

Dalam pengoperasiannya, rancangan alat ini menggunakan putaran dari motor listrik arus searah (DC) 1 phasa sebagai sumber tenaganya. Pada motor listrik tersebut juga sekaligus tersambung dengan poros fleksibel, melalui batang pipa, dan pada salah satu ujungnya tersambung ke pemegang *scotch brite disc*. Poros tersebut akan meneruskan putaran dari motor listrik ke pemegang *scotch brite disc*. Kelebihan dari poros ini adalah konstruksinya yang tidak kaku dan dapat meneruskan putaran secara fleksibel ke arah mana saja, sehingga *scotch brite disc* dapat berputar mengikuti kontur permukaan *compressor blade*, dan proses pembersihan menjadi lebih mudah dan cepat.



Gambar 3 – Konsep Rancangan Alat Bantu Pembersih *Compressor Blade*



Gambar 4 – Cara Kerja Rancangan Alat Bantu Pembersih *Compressor Blade*

Berikut ini spesifikasi dari rancangan alat bantu pembersih *compressor blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F :

Panjang pipa	: 1465 [mm]
Diameter <i>scotch brite disc</i>	: 5 [inchi] atau 127 [mm]
Daya motor listrik	: 350 [watt]
Diameter pipa	: 1 [inch], dengan ketebalan pipa 1 [mm]

3.3 Analisis Perhitungan Rancangan Alat Bantu Pembersih *Compressor Blade*

a. Menentukan dan menghitung putaran *scotch brite*

Dari katalog yang tersedia, sesuai dengan jenis pekerjaannya, yaitu proses *cleaning* atau *finishing*, maka untuk jenis *scotch brite* yang digunakan adalah jenis *scotch brite clean and finish disc hook and loop*, dengan grade A VFN dan diameter 5 [inchi]



Gambar 5 - *Scotch Brite Clean and Finish Disc Hook And Loop* (sumber : 3M Engineered Metalworking Solution, 2017.)

Kecepatan operasi (operating speed) yang disarankan untuk proses *cleaning* atau *finishing* adalah 500 – 3000 [SFPM] (*Surface Feet Per Minute*). Angka tersebut harus dikonversi dalam satuan [RPM] (*Rotation Per Minute*). Maka digunakan persamaan :

$$SFPM = N \times \emptyset \text{ scotch brite } x \pi / 12 \quad \text{[Persamaan 1]}$$

$$500 [SFPM] = N \times 5 [\text{inchi}] x \pi / 12$$

$$N = 381,9719 [\text{rpm}]$$

b. Torsi Motor Listrik

Torsi adalah gaya tekan putar pada bagian yang berputar. Makin besar dimensi yang diputar maka semakin besar pula torsi yang dihasilkan dan makin berat jenis bahan yang diputar maka makin besar pula torsi yang dihasilkan.

$$T = F \times R \quad \dots\dots\dots [\text{Nm}] \quad \text{[Persamaan 2]}$$

Keterangan :

T = Torsi [Nm]

F = Gaya tekan pada saat proses *cleaning* [N]

R = Jari-jari *scotch brite disc* [m]

Untuk proses *cleaning* atau *finishing*, maka dianggap memiliki tekanan yang sama dengan proses *polishing*, dengan F = 25 [lb], dengan ketentuan 1 [lb] = 4,448 [N]. Apabila dikonversi ke satuan [N] maka diperoleh nilai F = 111,206 [N]. Maka besarnya torsi saat proses kerja adalah :

$$\begin{aligned} T &= F \times R \\ T &= 111,206 [N] \times 2,5 [\text{inch}] \times 0,0254 [m] \\ T &= 7,0616 [Nm] \end{aligned}$$

c. Daya motor listrik

Secara sederhana, daya motor listrik dihitung dengan persamaan :

$$P = T \times \frac{2\pi N}{60} \quad \dots\dots\dots [\text{watt}] \quad \text{[Persamaan 3]}$$

Keterangan :

P = Daya listrik [watt]

T = Torsi [Nm]

N = Putaran *scotch brite disc* [RPM]

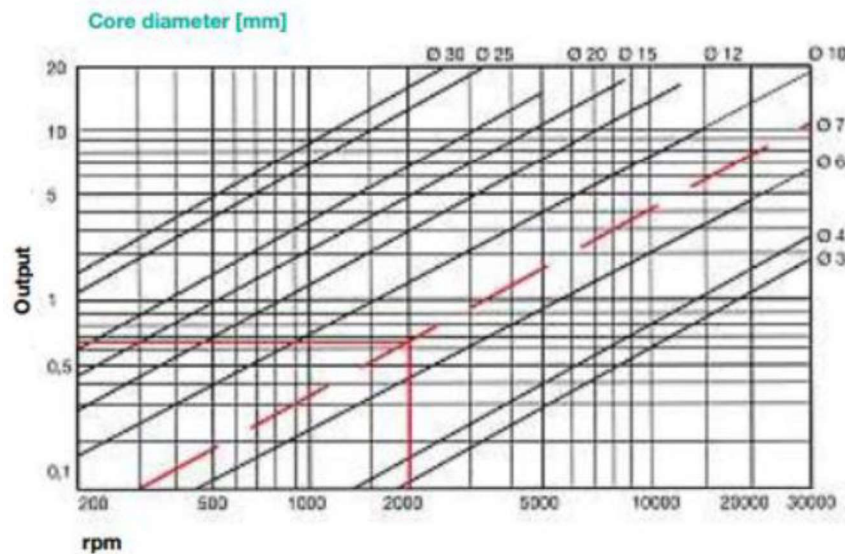
Maka besar daya motor listrik adalah :

$$\begin{aligned} P &= 7,0616 \times \frac{2\pi \times 381,9719}{60} \\ P &= 282,4640 [\text{watt}] \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, untuk menyesuaikan dengan motor listrik yang ada di pasaran, maka motor listrik yang digunakan adalah motor listrik *rotary tool* dengan kapasitas daya 350 [watt].

d. Menentukan ukuran poros fleksibel

Untuk menentukan ukuran poros fleksibel yang akan digunakan, maka dibutuhkan data putaran per menit [rpm] serta daya output. Dari hasil perhitungan di atas, maka diperoleh putaran sebesar 381,9719 [rpm] serta daya *output* 282,460 [watt] atau 0,2824 [kW]. Setelah itu, lihat tabel grafik hubungan antara besarnya putaran dengan daya *output* untuk menentukan ukuran diameter poros fleksibel yang diijinkan.



Gambar 6 – Grafik Hubungan antara daya output dengan rpm, untuk menentukan ukuran diameter inti poros fleksibel (sumber : <http://thonab.se/wp-content/uploads/2015/10/Flexible-shaft.pdf> diakses pada 8 Juli 2018)

Dari grafik tersebut, untuk daya *output* 0,2824 tidak tercantum, sehingga dapat dibulatkan ke atas yang terdekat dengan nilai tersebut, yaitu 0,5 [kW]. Sedangkan untuk putaran dapat dibulatkan menjadi 500 [rpm]. Sehingga dari angka-angka tersebut dapat dilihat pada grafik, ukuran diameter inti dari poros fleksibel yang diijinkan adalah 12 [mm]

- e. Menentukan ukuran pipa *stainless steel* untuk gagang

Ukuran pipa *stainless steel* menyesuaikan dengan ukuran diameter poros fleksibel, karena posisi poros tersebut berada di dalam pipa. Berdasarkan ukuran diameter poros fleksibel sebesar 12 [mm], maka untuk pipa *stainless steel* dapat digunakan dengan ukuran diameter 1 [inchi], dan ketebalan 1 [mm]

IV. KESIMPULAN

1. Rancangan alat bantu pembersih *compressor blade* dengan dimensi panjang 1465 [mm], diameter *scotch brite disc* 5 [inchi] atau 127 [mm], diameter pipa *stainless steel* 1 [inchi] menggunakan motor listrik dengan daya (power) 350 [watt] sebagai sumber tenaga putarnya, dan menggunakan poros fleksibel untuk mempermudah proses pembersihan.
2. Alat bantu ini dapat mempermudah serta mempercepat proses pembersihan *Compressor Blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F dari *row* 1 sampai *row* 17 pada saat *Major Inspection*.
3. Alat bantu ini dapat meminimalisir resiko kecelakaan kerja akibat tergores sisi-sisi sudu yang tajam pada saat proses pembersihan *compressor blade*

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Pembuatan rancangan alat bantu pembersih *compressor blade* pada rotor turbin gas Mitsubishi M701F ini tentunya tidak lepas dari bantuan, bimbingan serta arahan dari pihak-pihak yang turut membantu dalam perancangan alat bantu ini. Oleh karena itu penulis sampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ade Sumpena, ST. MT, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
2. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
3. Ibu Candra Damis Widiawaty, S.TP., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
4. Bapak Sujadi selaku Manajer Unit Jasa Pemeliharaan (UJH) Area I.2 (Priok, Saguling, Kamojang, Cilegon) PT Indonesia Power sekaligus Mentor selama di perusahaan.

5. Bapak Raska Permana selaku Supervisor Senior (SpS) Unit Jasa Pemeliharaan (UJH) Area I.2 (Priok, Saguling, Kamojang, Cilegon) PT. Indonesia Power sekaligus Tutor di perusahaan.
6. Orang tua serta keluarga penulis yang senantiasa memberikan dukungan moril maupun materil kepada penulis.
7. Teman-teman penulis yang tidak bisa disebutkan satu persatu, yang senantiasa memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdul Kadir, *Pembangkit Tenaga Listrik Edisi Revisi*. Jakarta: UI-Press, 2010, p. 31.
- [2] *Engineered Metalworking Solutions Catalogue*, 3M Industrial Product for Metalworking, USA, 2017.
- [3] Gerald A. Lux, and William Blum, "Methods of Polishing Steel and Their Effects Upon The Protective Value of Electroplated Coatings," *Part of Journal of Research of The National Bureau of Standards*, vol. 34, no. 1645, pp. 301-314, April 1945.
- [4] *GT Parts Catalogue M701F*, PT Indonesia Power, Jakarta, Indonesia, 2013.
- [5] <http://thonab.se/wp-content/uploads/2015/10/Flexible-shaft.pdf> diakses pada 8 Juli 2018
- [6] <https://www.scribd.com/doc/178611305/6-Turbin-pdf> diakses pada 25 Mei 2018
- [7] P.N. Rao, *Manufacturing Technology Metal Cutting and Machine Tools*, Singapore: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 2002, pp. 236-242.
- [8] R.S. Khurmi, and J.K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*, New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) Limited, 2005, p.14.
- [9] *Scotch Brite Surface Conditioning Wheels Catalogue*, 3M Industrial Business, USA, 2008.
- [10] V.B. Bhandari, *Design of Machine Elements*, Third Edition, New Delhi: Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2010, p.36.

**RANCANG BANGUN DAN ESTIMASI BIAYA PEMBUATAN *PROGRESSIVE TOOL*
STIFFENING LEG MOUNTING DI PT BUKAKA TEKNIK UTAMA UNIT STEEL TOWER
UNTUK PLAT DENGAN KETEBALAN 12 [mm]**

**Arif Budiarto¹; Erlan Biyan Kautzhar¹; Mohamad Fariz Izzani¹; Rezqi Auliya Malano¹; Rudi Edial²-
Wasiati Sri Wardani²**

*Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
¹rezqimalano97@gmail.com*

Abstrak

Dalam produksi stiffening leg mounting yang memiliki dimensi panjang 414 [mm], lebar 100 [mm] dan tebal 12 [mm] di PT Bukaka Teknik Utama Unit Usaha Steel Tower, terdapat proses yang tidak efektif dan efisien. Hal ini disebabkan karena masih melalui beberapa proses pemesinan yang dikerjakan secara terpisah, yaitu proses shearing, piercing, marking dan bending. Tiap proses berjarak relatif jauh dan memerlukan penggunaan material handling sehingga akan menambah resiko bahaya kecelakaan kerja serta meningkatnya biaya produksi. Salah satu solusi yang ditawarkan adalah memodifikasi mesin press bending yang berkapasitas 6000 [ton] menjadi sebuah progressive tool.

Progressive tool adalah salah satu jenis alat cetak tekan dengan sistem multi-station dimana urutan proses tekan dibuat pada alat cetak tekan. Progressive tool dipilih karena mampu melakukan semua proses yang dibutuhkan saat pembuatan produk dalam satu kali langkah meliputi proses piercing, marking, shearing, dan bending. Dalam proses pembuatan progressive tool, biaya tentu diperlukan sehingga perhitungan estimasi biaya pembuatan juga dibutuhkan. Estimasi biaya pembuatan adalah perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk membuat suatu alat atau produk yang meliputi production cost dan non production cost. Pada production cost terdapat perhitungan material dan machining process, sedangkan pada non production cost terdapat perhitungan overhead cost, safety cost, dan profit.

Penelitian ini menghasilkan rancangan serta membuat progressive tool stiffening leg mounting yang memiliki tiga station untuk empat proses utama yaitu piercing, marking, shearing dan bending sehingga dapat menjadikan proses produksi lebih efektif dan efisien. Progressive tool ini menggunakan penggerak mesin press dengan sistem hidrolik yang memiliki kapasitas 6000 [ton] serta dijadikan acuan bentuk base plate dan upper plate. Progressive tool ini memiliki dimensi panjang 1600 [mm], lebar 220 [mm], dan tinggi 332 [mm].

Kata kunci : progressive tool, stiffening leg mounting, estimasi biaya pembuatan

Abstract

In the production of stiffening leg mounting that has a length dimension of 414 [mm], a width of 100 [mm] and a thickness of 12 [mm] at PT Bukaka Teknik Utama of Steel Tower Business Unit, there is an ineffective and inefficient process. This is because still through some machining process that is done separately, that is process of shearing, piercing, marking and bending. Each process is relatively far away and requires the use of material handling so that it will increase the risk of workplace accidents and production costs. One of the solutions offered is to modify a 6000 [ton] press bending machine into a progressive tool.

Progressive tool is one type of press tool with multi-station system where the sequence of press process is made on that press tool. Progressive tool is chosen because it is able to perform all the required process when making the product in one step that includes the process of piercing, marking, shearing and bending. In the process of making progressive tools, costs are certainly required so that calculation of estimated manufacturing cost is also required. Estimated manufacturing cost is the cost calculation required to make a tool or product that includes production cost and non production cost. At production cost there is calculation of material and machining process, while at non production cost there is calculation of overhead cost, safety cost, and profit.

This research produces a progressive tool stiffening leg mounting design that has three stations for four main processes, that is process of piercing, marking, shearing and bending so it can make the production process more effective and efficient. The Progressive tool uses a hydraulic press machine with a capacity of 6000 [Ton] and is used as reference for base plate and upper plate progressive tool. The Progressive tool has a length dimension of 1600 [mm], a width of 220 [mm], and a height of 332 [mm].

Key Word: progressive tool, stiffening leg mounting, estimated manufacturing cost

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu unit yang terdapat di PT Bukaka Teknik Utama adalah unit usaha *steel tower*. Unit usaha ini memproduksi *tower* beserta komponen pendukungnya. Salah satu produknya adalah *Stiffening Leg Mounting*. *Stiffening Leg Mounting* adalah *mounting* yang dipasang pada kaki - kaki *tower* berbentuk pipa, dan digunakan sebagai komponen penyambung antar kaki – kaki *tower*.

Di *workshop* PT Bukaka Teknik Utama unit *steel tower*, proses pengerjaan *mounting* tersebut dibagi dalam lima *work station* yaitu *shearing*, *piercing*, *stamping (marking)*, dan *bending 45°*, *bending 90°*. Kelima proses tersebut masih dilakukan secara terpisah dan jarak antar *workstation* relatif jauh, sementara target yang diberikan dalam satu minggu harus mencapai 1000 *pieces*. Pada unit *steel tower* menerapkan sistem *job order*. Dikarenakan jumlah yang harus dibuat cukup banyak dan menggunakan berbagai mesin, maka hal ini akan menunda pengerjaan *project* lain di unit *steel tower*.



Gambar 1. *Stiffening Leg Mounting*

Pada dasarnya, proses dari pembuatan produk ini memerlukan beberapa proses yaitu *piercing*, *stamping (marking)*, *shearing*, dan *bending*. Oleh sebab itu, dibuatlah *progressive tool* untuk mempersingkat dan mempermudah proses. Penulis dalam hal ini terlibat dalam proses perancangan, pembuatan dan perhitungan estimasi biaya pembuatan. *Progressive tool* adalah perkakas tekan yang dirancang untuk melakukan sejumlah operasi pemotongan atau pembentukan dalam beberapa stasiun kerja. Estimasi biaya pembuatan adalah perhitungan biaya yang dibutuhkan untuk membuat suatu alat atau produk yang meliputi *production cost* dan *non production cost*. Pada *production cost* terdapat perhitungan material dan *machining process*, Pada *non production cost*, terdapat perhitungan *overhead cost*, *allowance cost*, dan profit.

1.2 Tujuan Penelitian

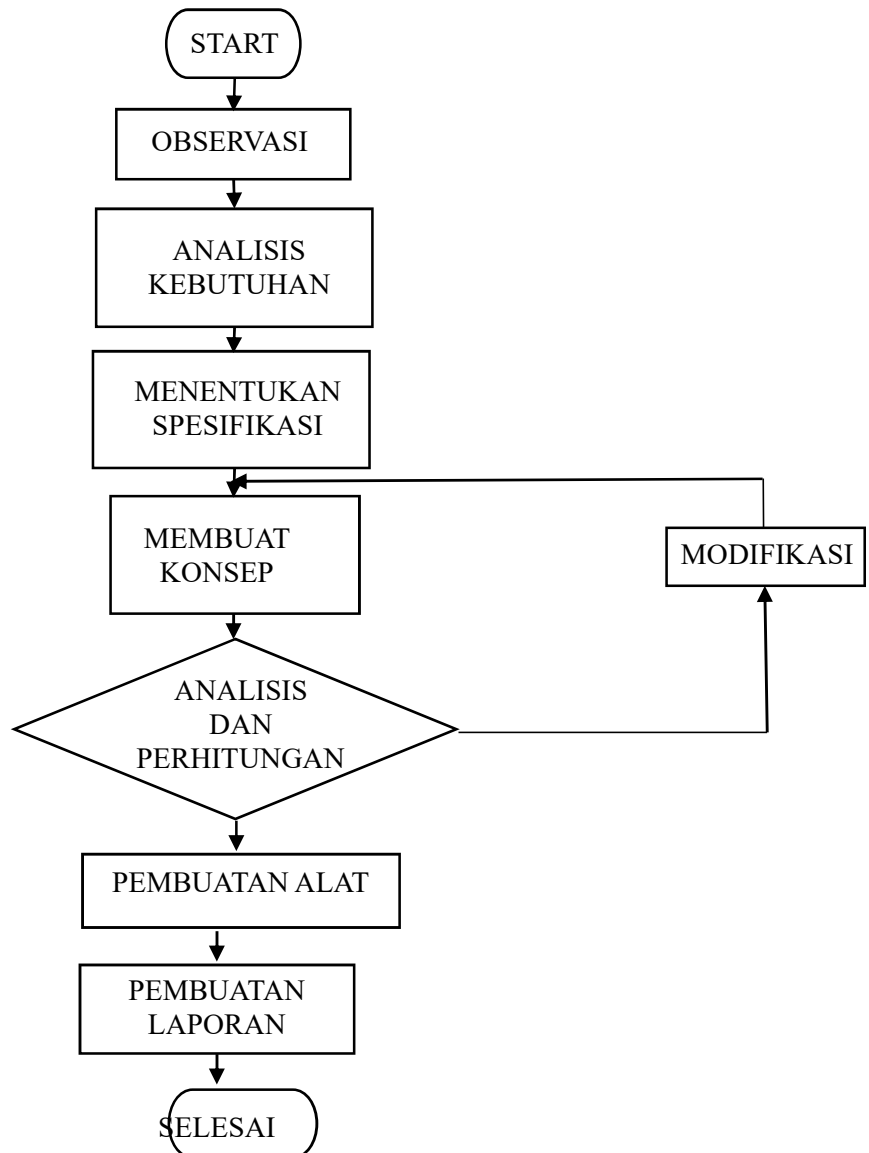
1.2.1. Tujuan Umum

1. Untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh Diploma III Politeknik Negeri Jakarta.
2. Menerapkan dan mengembangkan ilmu yang telah didapat selama kuliah di Politeknik Negeri Jakarta.

1.2.2. Tujuan Khusus

1. Mampu membuat *progressive tool stiffening leg mounting*.
2. Mampu menghitung estimasi biaya yang dibutuhkan untuk membuat *progressive tool*.

II. METODE PENELITIAN



Uraian dari metode penelitian:

1. Mulai melakukan penelitian.
2. Observasi ke lapangan (*workshop* PT. BUKAKA Teknik Utama), melihat adanya proses produksi yang kurang efisien dimana untuk membuat suatu komponen *stiffening leg mounting* membutuhkan beberapa proses permesinan untuk membuat produk tersebut jadi.
3. Analisis Kebutuhan, setelah observasi ke lapangan dan ditemukannya proses produksi yang kurang efisien maka penulis membuat suatu alat bantu yaitu *progressive tool* untuk mempercepat proses pembuatan komponen *stiffening leg mounting*.
4. Menentukan Spesifikasi, penulis menentukan mesin bending *press brake* dengan kapasitas 6000 [Ton] untuk pengoperasian *progressive tool* dengan alasan mampu melakukan proses penekanan dikarenakan gaya total yang dibutuhkan *progressive tool* hanya 174.24 [Ton] dan mengefektifkan semua mesin yang ada di *workshop* PT. BUKAKA Teknik Utama.

5. Membuat Konsep Rancangan, konsep rancangan (*design*) ditentukan bersama dengan pihak industri dengan fokus memanfaatkan konstruksi dari mesin bending *press brake* dengan kapasitas 6000 [Ton] di workshop PT. BUKAKA Teknik Utama.
6. Analisis dan Perhitungan, setelah konsep rancang ditentukan selanjutnya analisi dan perhitungan dilakukan untuk menentukan spesifikasi setiap komponennya. Jika ada ketidaksihinggaan dengan konsep rancang, maka konsep rancang (*design*) berubah mengikuti dengan analisis dan perhitungan. Jika konsep rancang dan analisi perhitungan selaras maka dilanjutkan ke proses pembuatan *progressive tool*.
7. Proses Pembuatan, dalam proses pembuatan sepenuhnya ditanggung oleh pihak industri dikarenakan kesepakatan dari pihak industri, akan tetapi penulis dapat mengawasi, mengontrol, dan mengambil data ketika berlangsungnya proses fabrikasi tersebut.
8. Pembuatan Laporan.
9. Selesai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian tentang rancang bangun *progressive tool stiffening leg mounting* adalah gambar kerja dan perhitungan dari pembuatan *progressive tool*. Berikut penulis lampirkan:

3.1. Perhitungan Teknis

• Clearance

Perhitungan clearance untuk *progressive tool* yang dibuat

Diketahui : material = SS400
Tebal = 12 [mm]
tegangan tarik = 40 [kg/mm²]

Ditanyakan : Berapa clearance-nya?

Jawab : $C/2 = 0,01 \cdot t \cdot \sqrt{\tau g}$ ($\tau g = [kg/mm^2]$) [persamaan 1]
 $= 0,01 \cdot 12 [mm] \cdot \sqrt{0,75 \times 40 [kg/mm^2]}$
 $= 0,657 [mm]$

• Gaya Potong dan Bending

Perhitungan gaya potong dan bending pada *progressive tool* yang dibuat

Diketahui : material = SS400
tebal = 12 [mm]
tegangan tarik = 40 [kg/mm²]

- Gaya Piercing

$F_{piercing} = K \times t \times \tau_{geser}$ [persamaan 2]
 $= 152,55 [mm] \times 12 [mm] \times (0,75 \times 40) [kg/mm^2]$
 $= 54907,29 [kg]$
 $= 54,907 [Ton]$

Karena terdapat dua kali proses piercing maka;

$$\begin{aligned} F \text{ piercing total} &= 54.907 [Ton] \times 2 \\ &= 109.814 [Ton] \\ &= 109814 [kg] \end{aligned}$$

- **Gaya Shearing**

$$\begin{aligned} F \text{ shearing} &= 0.8 \times L \times t \times \tau_g && \text{[persamaan 3]} \\ &= 0.8 \times 100 [mm] \times 12 [mm] \times (0,75 \times 40) [kg/mm^2] \\ &= 28800 [kg] \\ &= 28.8 [Ton] \end{aligned}$$

- **Gaya Bending**

$$\begin{aligned} F \text{ bending} &= 0.33 \times b \times t \times \tau_g && \text{[persamaan 4]} \\ &= 0.33 \times 100 [mm] \times 12 [mm] \times (0,75 \times 40) [kg/mm^2] \\ &= 11880 [kg] \\ &= 11.8 [Ton] \end{aligned}$$

Karena proses bending dilakukan tiga kali maka :

$$\begin{aligned} F \text{ bending total} &= 3 \times F \text{ bending} \\ &= 3 \times 11.8 [Ton] \\ &= 35640 [kg] \\ &= 35.64 [Ton] \end{aligned}$$

- **Gaya Potong dan bending Total**

$$\begin{aligned} F_p \text{ total} &= F \text{ piercing total} + F \text{ shearing} + F \text{ bending total} \\ &= 109.8 [Ton] + 28.8 [Ton] + 35.64 [Ton] \\ &= 174.24 [Ton] \end{aligned}$$

- **Gaya Stamping**

$$\begin{aligned} F \text{ stamping} &= K_{\text{stamping}} \times t \times \sigma_t && \text{[persamaan 5]} \\ &= 189.46 [mm] \times 12 [mm] \times 40 [kg/mm^2] \\ &= 90940.8 [kg] \\ &= 90.94 [Ton] \end{aligned}$$

- **Dimensi Dies**

• **Tebal Dies Minimal**

$$\begin{aligned} H &= \sqrt[3]{F} && (F=17424 [kg]) && \text{[persamaan 6]} \\ H &= \sqrt[3]{17424} \\ H &= 25.924 [mm] \sim 26 [mm] \end{aligned}$$

• **Jarak Minimal lubang dies ke tepi dies**

$$W_2 = 1,5 \times H \quad [\text{persamaan 7}]$$

$$W_2 = 1,5 \times 26 \text{ [mm]}$$

$$W_2 = 39 \quad \text{[mm]}$$

- **Gaya Stripper**

Gaya stripper 2,5 % (cutting) - 20 % (full bending)

Perhitungan gaya stripper pada progressive tool yang dibuat

Diketahui : tebal material = 2 [mm]

$$F \text{ piercing total} = 109814 \text{ [kg]}$$

Digunakan presentase sebesar 10 %

$$F_{\text{stripper}} = 10\% \times F \text{ piercing} \quad [\text{persamaan 8}]$$

$$= 10\% \times 109814 \text{ [kg]}$$

$$= 10981.4 \text{ [kg]}$$

- **Gaya Pegas**

Pegas yang akan dipakai dapat dihitung dengan cara membagi gaya stripper dengan jumlah (n) pegas yang akan digunakan adalah:

$$F_{\text{pegas}} = \frac{F \text{ stripper}}{n} \quad [\text{persamaan 9}]$$

$$= \frac{10981.4 \text{ [kgf]}}{6}$$

$$= 1830.23 \text{ [kgf]}$$

Lalu, spesifikasi spring disesuaikan dengan Fpegas seperti yang tertera pada tabel. Jumlah spring yang dipakai dalam progressive tool ini adalah 6 dengan pemakaian diameter retainer bolt 8 [mm].

Model	Color	Wire Dia (φ)	Coil Dia (φ)	Turns	Material	Performance (Shots)		
						50%	60%	70%
P.1073	Purple	φ 6 (φ 3)	φ 30 (φ 15)	15	200	27 (12.8)	32 (3.3)	392 (40.0)
P.1075	Yellow	φ 6 (φ 3)	φ 70 (φ 38.5)	10	500	47 (16.4)	59 (16.0)	3136 (400)
P.1077	Blue	φ 6 (φ 3)	φ 70 (φ 38.5)	10	350	63 (16.4)	78 (18.0)	4782 (1610)
P.1079	Red	φ 6 (φ 3)	φ 70 (φ 38.5)	10	350	79 (16.4)	98 (110)	6664 (1690)
P.1081	Green	φ 6 (φ 3)	φ 70 (φ 38.5)	10	350	110 (111)	137 (14)	10046 (1280)
P.1083	Brown	φ 6 (φ 3)	φ 70 (φ 38.5)	10	350	142 (14)	177 (18)	13655 (1392)

Gambar 2. Tabel Spesifikasi Spring

- **Perhitungan Estimasi Biaya**

- **Biaya Material**

No	Nama Material	Bahan	Harga
1	Top and Bottom Plate	ST 37	Rp 5.000.000,00

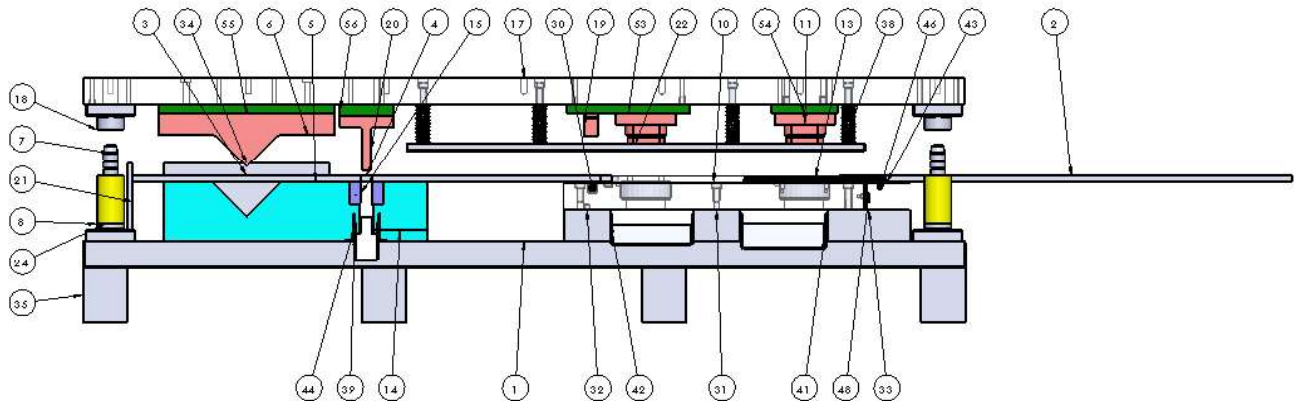
2	<i>Punch and Dies</i>	SKD11	Rp 15.000.000,00
3	<i>Holder Dies Pierching</i>	SKD11	Rp 5.000.000,00
4	<i>Fastener</i>	STD	Rp 200.000,00
5	<i>Stopper</i>	ST 37	Rp 100.000,00
6	<i>Plate Holder</i>	ST 37	Rp 200.000,00
7	<i>Plate Stripper</i>	ST 37	Rp 300.000,00
8	<i>Plate Base Dies</i>	ST 37	Rp 400.000,00
9	<i>Plate Block</i>	ST 37	Rp 1.000.000,00
10	<i>Spring</i>	STD Misumi	Rp 300.000,00
11	<i>Guide Post</i>	STD Graph Tech	Rp 100.000,00
12	<i>Scrap Slider</i>	SS 400	Rp 50.000,00
Jumlah			Rp 5.150.000,00

- **Biaya Permesinan** = Rp 80.000.000,00
- **Biaya Overhead** = Rp 8.000.000,00
- **Biaya Profit** = Rp 20.000.000,00
- **Biaya Allowance** = Rp 8.000.000,00
- **Total Estimasi Biaya** = Rp 121.150.000,00

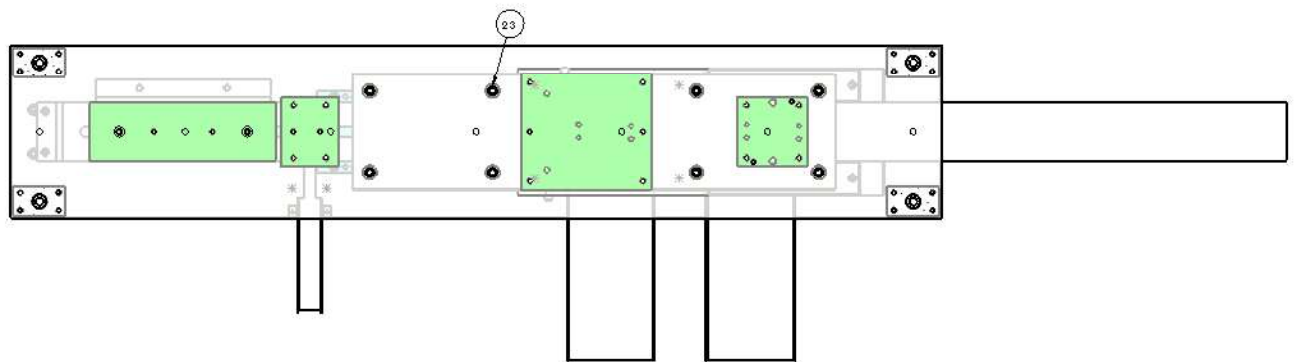
3.2. Lokasi Pembuatan

Workshop PT Bukaka Teknik Utama unit steel tower.

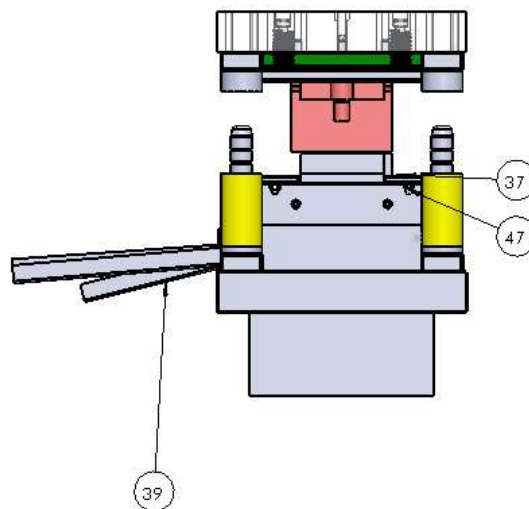
3.3. Gambar Rancangan



Gambar 3. Gambar Rancangan Tampak Depan



Gambar 4. Gambar Rancangan Tampak Atas



Gambar 5. Gambar Rancangan Tampak Samping Kanan

NO.	Nama Bagian	NO.	Nama Bagian
1	Base Plate	10	Pin Stopper
2	Strip Material	11	Pengarah Strip
3	Dies Bend	12	Holder Dies Shearing
4	Punch Bend	13	Pisau Shearing
5	Pillar Guide	14	M - 8 x 1.25 x 20
6	Guide bush	15	M - 8 x 1.25 x 35
7	Dies Pierching	16	M - 10 x 1.5 x 45
8	Holder Dies Pierching	17	M - 10 x 1.5 x 25
9	Punch Pierching	18	M - 6 x 1.0 x 10

NO.	Nama Bagian	NO.	Nama Bagian
19	M - 8 x 1.25 x 16	28	Ring Setting
20	M - 10 x 1.5 x 50	29	Kosong
21	Upper Plate	30	3
22	Guide bush Atas	31	A
23	Punch Stamping	32	M
24	Punch Shearing	33	H
25	Block Stopper	34	Ganjal ₂
26	Plate Stripper	35	Ganjal
27	Baut spring	36	Ganjal ₁

NO.	Nama Bagian	NO.	Nama Bagian
37	Blok stopper samping	46	L sanggahan prosotan parting
38	Blok Peninggi	47	M6 x 20
39	First stoper	48	ISO - 4034 - M6 - N
40	First stoper house	49	Pena D 8
41	9-1006-11	50	Pena D 8x70
42	Prosotan Scrap ₂	51	Trash Plate
43	Prosotan Scrap	52	Trash Plate 2
44	Prosotan Scrap ₁	53	Trash Plate 3
45	Penahan Rel	54	Trash Plate 4

IV. KESIMPULAN

1. *Progressive tool stiffening leg mounting* ini memiliki tiga *station* dan mengerjakan empat proses yaitu, *piercing*, *stamping*, *shearing*, dan *bending*. Progressive tool ini memiliki dimensi panjang 1600 [mm], lebar 220 [mm], dan tinggi 332 [mm]. Beban maksimum untuk proses *piercing* sebesar 109814 [kg], proses *bending* sebesar 35640 [kg], proses *shearing* sebesar 28800 [kg] dan proses *stamping* sebesar 90940.8 [kg].
2. Estimasi biaya pembuatan progressive tool mounting leg sebesar Rp 121.150.000,00.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Kami bersyukur kepada Allah SWT yang telah memberikan jalan untuk menyelesaikan makalah ini. Dan juga kami ucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini, terutama kepada dosen pembimbing kami Bapak Drs. Rudi Edial, MT. dan Ibu Ir. Wasiati Sri Wardani, MMBAT. Serta para pembimbing industri yang berada di PT Bukaka Teknik Utama Unit Usaha *Steel Tower*, terutama Bapak Amalio Faraokhi, A.Md dan Bapak Soyan Hadi, A.Md.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Budiarto. *PPL-2, Press Tool 1 (Proses Pemotongan)*. Bandung : Politeknik Manufaktur Bandung. 2001.

- [2] Budiarto, *PPL-2, Press Tool 2 (Proses Bending)*. Bandung : Politeknik Manufaktur Bandung. 2001.
- [3] Etrik, *HandBook Bending Tool*. Bandung: Politeknik Manufaktur Bandung. 2014.
- [4] Fischer, Ulrich, dkk, *Mechanical and Metal Trades Handbook*. Germany : Verlag Europa Lehrmittel. 2008.
- [5] Fischer, Ulrich, dkk, *Tabellenbuch Metall*. Germany : Verlag Europa-Lehrmittel. 1982.
- [6] Luchsinger, H.R, *Tool Design* . Bandung : Politeknik Mekanik Swiss – ITB. 1984.
- [7] Ramdhani, Radi, dkk. *Pembuatan Press Tool Slider Atas Bagian Dari Sabuk Pengikat Jenis Progressive Tool*. Bandung: Teknik Manufaktur Politeknik Manufaktur Bandung. 2014.
- [8] Sudarmawan Th, Rony. *Teknologi Pressdies*. Jakarta : Kanisius (Anggota IKAPI). 2009.
- [9] Scribd. 13 Januari 2010. Presstool. 22 Februari 2018.
<https://www.scribd.com/document/25143014/Press-Tool>.
- [10] Dictio. November 2017. apa yang dimaksud dengan biaya produksi. 26 Februari 2018.
<https://www.dictio.id/t/apa-yang-dimaksud-dengan-biaya-produksi/14039/2s>.

RANCANG BANGUN ROKOTALI (ROASTER KOPI TANPA LISTRIK) DENGAN EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS

Pangestu Try Wibowo; Agus Sukandi; Elfi Nur Rohmah

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
twpangestu1@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan industri kopi dan tingginya harga kopi saat ini memperlihatkan bahwa pertanian kopi dapat memberikan kontribusi besar bagi pendapatan rumah tangga petani kopi di Indonesia. Namun pada kenyataan, dampak pertumbuhan tersebut belum dapat dirasakan oleh petani kopi yang memiliki keterbatasan teknologi terutama dalam proses penyangraian yang masih menggunakan media wajan dan tungku kayu bakar. Distribusi panas yang tidak merata dan tidak diketahuinya temperatur dalam proses penyangraian biji kopi secara tradisional menyebabkan biji kopi sangrai yang dihasilkan hangus sehingga biji kopi hanya mampu dipasarkan dalam bentuk biji mentah (green bean). Hal tersebut tentu akan berpengaruh pada penghasilan yang didapatkan oleh petani kopi. Energi sinar matahari merupakan energi yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi yang diimplementasikan dalam alat penyangrai biji kopi. Roaster Kopi Tanpa Listrik (ROKOTALI) merupakan alat yang menerapkan prinsip kerja kolektor surya dengan jenis Evacuated Tube Solar Collectors. Dimana jenis ini akan dibuat dalam keadaan vakum dan mampu menghasilkan panas pada temperatur hingga $\geq 200^{\circ}\text{C}$, dengan panas terbuang atau kehilangan panasnya relatif rendah. Peralatan tabung biji kopi ini akan dirancang dapat berputar pada sebuah poros dengan pillow block bearing dan akan dipasangkan pressure gauge serta thermometer agar saat proses penyangraian, biji kopi mendapat distribusi panas yang merata sehingga menghasilkan biji kopi sangrai yang baik. Pada pengujian ini akan di uji pengaruh kevakuman ruang dalam meningkatkan dan menjaga temperatur tinggi dalam proses perpindahan panas dengan sumber energi matahari yang berguna untuk menyangrai biji kopi hingga mencapai tingkatan light roast dan pengujian tingkat keefektifitasan alat ini jika dibandingkan dengan alat sangrai biji kopi tradisional maupun konvensional. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan efisiensi sebesar 73,28% untuk tabung kolektor saat tekanan vakum dan hanya 44,34% saat tidak vakum. Kenaikan temperatur saat pengujian keadaan tidak vakum hanya sebesar $11,2^{\circ}\text{C}$ sedangkan saat tabung dalam keadaan vakum dapat mencapai kenaikan hingga 42°C terhadap temperatur lingkungan. Dengan percobaan ini biji kopi sangrai dapat ditingkatkan kualitasnya, namun dengan keuntungan tidak perlu menambah beban biaya produksi.

Kata kunci: Kolektor Surya, Evacuated Tube Solar Collectors, Roaster Kopi Tanpa Listrik.

Abstract

The growth of the coffee industry and the high current price of coffee shows that coffee farming can contribute greatly to the income of coffee farming households in Indonesia. But in reality, the impact of such growth can't be felt by coffee farmers who have limitation in technology, especially in roasting process that is still using the wok media and firewood stove. Uneven distribution of heat and unknown temperature in the process of roasting coffee beans have traditionally caused roasted coffee beans so that coffee beans can only be marketed in the form of raw beans (green beans). This will certainly affect the income earned by coffee farmers. Solar energy is energy that can be utilized to be the energy source that is implemented in coffee bean cultivator. ROKOTALI (Coffee Roaster Without Electricity) is a tool that applies the working principle of solar collector with type Evacuated Tube Solar Collectors. Where this type will be made in a vacuum state and capable of generating heat at temperatures up to $\geq 200^{\circ}\text{C}$, but the heat is wasted or heat losses are relatively low. This coffee bean tube apparatus will be designed to rotate on a shaft with pillow block bearing and will be mounted pressure gauge and thermometer so that during the process of roasting, coffee beans get evenly distributed heat to produce good roasted coffee beans. In this test will be tested the effect of vacuum space in improving and maintaining high temperature in the process of heat transfer with solar energy source that is useful to roast coffee beans to reach the level of light roast and testing the level of effectiveness of this tool when compared with traditional coffee beans or conventional grill. Based on the tests that have been done, obtained efficiency of 73.28% for the collector tube when the vacuum pressure and only 44.34% when not vacuum. The temperature rise during the vacuum state test is only 11.2°C while the tube under vacuum can reach up to 42°C with respect to ambient temperature. With this experiment the roasted coffee beans can be improved in quality, but with the advantages do not need to increase the burden of production costs.

Keywords: Solar Collectors, Evacuated Tube Solar Collectors, Coffee Roaster Without Electricity.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri kopi dan tingginya harga kopi saat ini memperlihatkan bahwa pertanian kopi dapat memberikan kontribusi besar bagi pendapatan rumah tangga petani kopi di Indonesia. Pertumbuhan tersebut dibuktikan dengan harga kopi di Indonesia yang cenderung meningkat dengan rata-rata peningkatan sebesar 4,98% pada tahun 2007 – 2015. Selain itu, konsumsi kopi di Indonesia juga diproyeksikan meningkat sebesar 2,49% pada tahun 2016 – 2020 [1]. Namun pada kenyataannya, masih banyak petani kopi yang belum mendapatkan kesejahteraan dikarenakan pengolahan produksi kopi belum dilakukan secara maksimal sesuai permintaan pasar. Kebanyakan petani kopi memasarkan biji kopinya kepada tengkulak dalam bentuk biji kopi mentah (*green bean*) karena keterbatasan pada teknologi. Hal tersebut tentu berpengaruh terhadap penghasilan yang didapatkan oleh petani kopi mengingat rendahnya harga kopi mentah yang ditawarkan oleh tengkulak kopi. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu bantuan alat teknologi sangrai pengolahan biji kopi mentah yang dapat digunakan petani kopi skala kecil tanpa menambah beban biaya produksi.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Rozi Wiranata mengenai pengaruh tingkat penyangraian terhadap karakteristik fisik dan kimia kopi robusta (2016), dihasilkan 0,86% perubahan kadar air, kecerahan warna dan aktivitas antioksidan dari biji kopi yang disebabkan oleh hasil penyangraian [2]. Kendala pada umumnya yang dihadapi oleh para petani atau produsen kopi skala kecil adalah rendahnya mutu biji kopi hasil sangrai yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan alat sangrai kopi secara tradisional yaitu dengan wajan dan tungku kayu bakar sebagai media dalam penyangraian yang dinilai kurang efektif dikarenakan panas wajan saat mengenai biji kopi yang tidak merata dan tidak diketahuinya temperatur dalam proses penyangraian secara tradisional. Akibatnya panas yang berlebihan menyebabkan distribusi panas pada biji kopi tidak merata dan menghasilkan biji kopi yang hangus. Hal inilah yang menyebabkan kebanyakan petani kopi tradisional tidak memasarkan produknya dalam bentuk biji kopi *roast bean*.

Wilayah Indonesia memiliki sinar matahari yang cukup melimpah, terletak pada daerah khatulistiwa yang mempunyai iklim tropis dan radiasi matahari hampir sepanjang tahun [3], sehingga penerapan teknologi pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi dapat diimplementasikan dalam alat penyangrai biji kopi. Dengan memanfaatkan energi matahari maka tidak membutuhkan adanya daya listrik serta biaya produksi tambahan. Berdasarkan data yang diberikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia tahun 2004 sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya dengan radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m² [4].

Untuk dapat memanfaatkan energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi, perlu digunakan suatu perangkat untuk mengumpulkan energi tersebut dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna. Perangkat ini disebut dengan kolektor surya [5]. Alat penyangraian biji kopi mentah akan menggunakan prinsip kerja kolektor surya di dalamnya, yaitu memanfaatkan radiasi energi panas yang didapatkan dari matahari dengan bantuan bahan konduktor, kemudian panas disimpan dan dijaga temperaturnya pada komponen alat yang disebut absorber dan bahan isolator. Radiasi matahari memiliki distribusi panjang gelombang yang khusus, untuk itu intensitasnya sangat bergantung pada kondisi atmosfer, yaitu sudut-timpa sinar matahari di permukaan bumi [6].

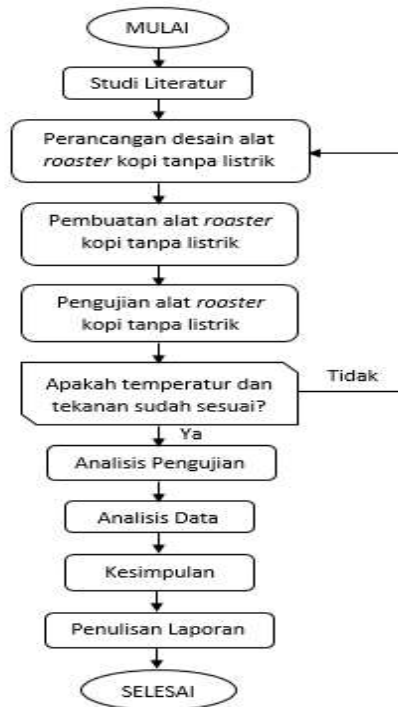
Hal ini diterapkan sebagai perangkat penyangrai biji kopi *green bean* hingga mencapai tingkat olahan *roast bean* yang baik tanpa membutuhkan daya listrik. Jenis *Evacuated Tube Solar Collectors* atau sering disebut kolektor surya tabung hampa dipilih dalam solusi penerapannya, dimana dengan jenis tersebut tabung yang digunakan akan dibuat dalam keadaan vakum dikarenakan jenis ini mampu menghasilkan panas pada temperatur hingga $\geq 200^{\circ}\text{C}$ yang dihasilkan dari efisiensi perpindahan panas yang tinggi namun faktor terbuang atau kehilangan panas relatif rendah [7]. Salah satu syarat dari kehilangan panas adalah adanya media fluida yang dilalui ke suatu bahan atau zat yang memiliki temperatur lebih tinggi. Media fluida yang dimaksud di dalam penerapan jenis *Evacuated Tube Solar Collectors* adalah udara. Kevakuman tabung menciptakan panas matahari yang mengenai plat konduktor diperkecil dalam perpindahan panas terbuangnya, sehingga dapat mempertahankan temperatur dan panas matahari masuk secara konstan akibat radiasi matahari yang tidak terbatas.

Permasalahan menyangrai biji kopi atau memproduksi biji kopi mentah menjadi tahap *roast bean* pada petani kopi skala kecil dapat diatasi dengan mengambil prinsip kerja kolektor surya. Dengan alat ini diharapkan dapat menjadi solusi dari permasalahan pada daerah yang belum tersambung daya listrik secara maksimal, namun memiliki potensi sumber daya alam seperti perkebunan kopi yang melimpah. Peralatan tabung biji kopi sangrai ini akan dirancang dapat berputar pada sebuah poros dengan *pillow block bearing*

dan akan dipasang *pressure gauge* serta *thermometer* agar dalam proses penyerapan panas dan berlangsungnya proses penyangraian, biji kopi bisa mendapatkan panas yang merata sekaligus menghasilkan biji kopi sangrai yang baik sesuai dengan permintaan pasar yaitu mencapai tingkatan *light roast*.

II. METODE PENELITIAN

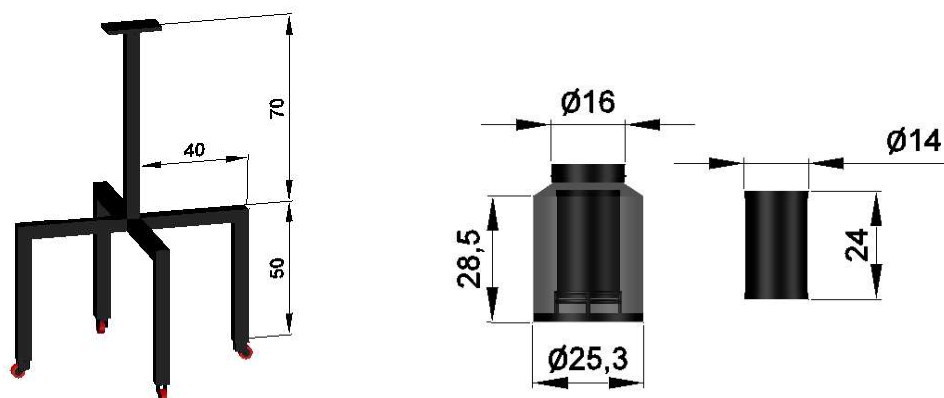
Keseluruhan sistem dalam pengujian baik komponen dan alat diharapkan dapat terealisasi sesuai rencana. Untuk itu agar mencapai tujuan yang diharapkan, dibuatlah suatu metode yang digambarkan dengan diagram alur di bawah ini:

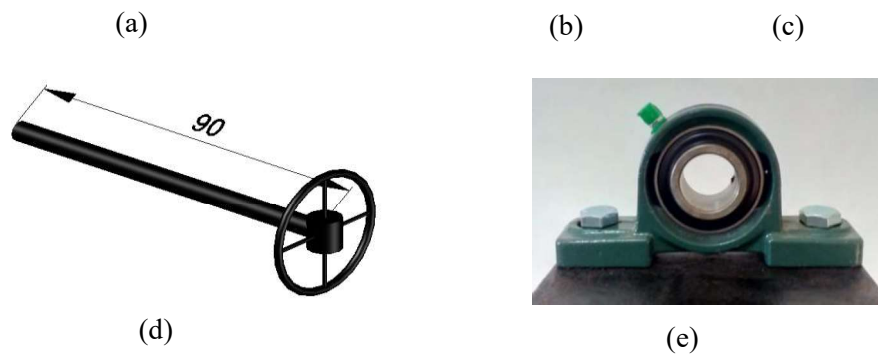


Gambar 2.1. Flowchart Alat Roaster Kopi Tanpa Listrik

Tahap awal dalam rancang bangun *Roaster* Kopi Tanpa Listrik adalah tahap persiapan. Dalam tahap ini mencari dan mempelajari beberapa pustaka terkait dengan kolektor surya dengan jenis *Evacuated Tube Solar Collectors*. Tahap berikutnya adalah realisasi alat, yang meliputi tahap realisasi disain dengan membuat gambar disain alat *roaster* kopi tanpa listrik dengan penentuan komponen dan bahan yang dibutuhkan di dalamnya. Persiapan dengan pemasangan komponen, pengelasan, dan pembuatan pompa vakum manual. Perakitan alat dari bahan konduktor, tabung kaca, poros, *bearing*, dan alat ukur. Kemudian pada tahap ketiga akan dilakukan pengujian komponen dan alat, untuk mendeteksi terjadinya kesalahan agar dapat diperbaiki atau disempurnakan sesuai dengan disain yang diharapkan melalui tahap pengujian *troubleshooting*.

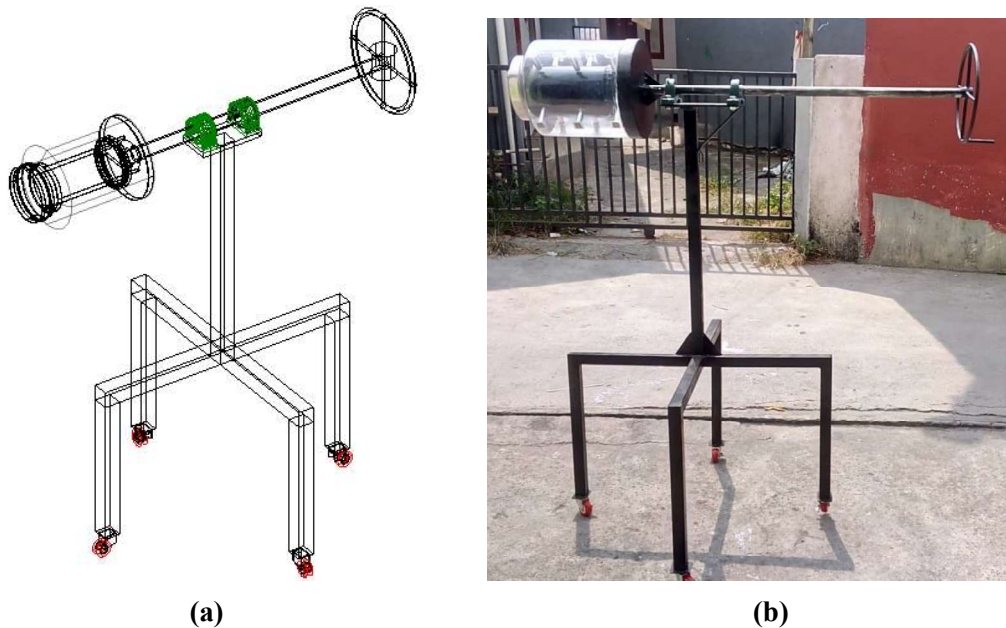
Perancangan Alat *Roaster* Kopi Tanpa Listrik





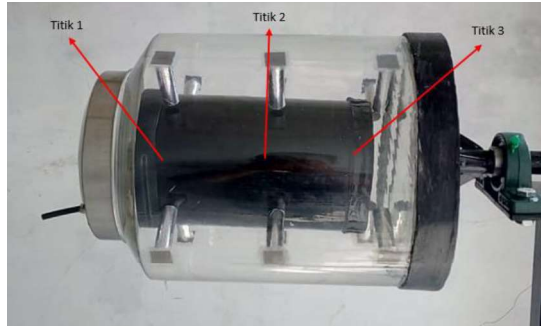
Gambar 2.2. Komponen dan Bahan Alat *Roaster* Kopi Tanpa Listrik

Dalam perancangan pembuatan alat *roaster* kopi tanpa listrik digunakan bahan besi *hollow* 30 x 30 mm dengan panjang dan disain seperti Gambar 2.2 (a) dengan ketebalan 3 mm. Sebagai tempat masuknya sinar matahari digunakan tabung kaca dengan ukuran dan bentuk seperti Gambar 2.2 (b). Tabung plat konduktor yang digambarkan pada Gambar 2.2 (c) menggunakan bahan plat aluminium datar ukuran 24 x 44 cm dengan tebal 0,3 mm yang dirancang mampu menampung biji kopi hingga 2 kg. Kemudian sebagai pemutar tabung, digunakan pipa besi ukuran panjang 90 cm, tebal 2 mm dengan disain seperti Gambar 2.2 (d), dan dibantu dengan 2 *pillow block bearing* seperti Gambar 2.2 (e) dengan ukuran untuk diameter poros 1 inch.



Gambar 2.3. (a) Disain Teknologi yang Hendak Diterapkembangkan; (b) Realisasi Rancangan yang Dibuat

Setelah komponen dan alat yang digunakan di dalam *Roaster* Kopi Tanpa Listrik telah berjalan sesuai dengan disain yang diharapkan, maka akan dilanjutkan dengan tahap analisis. Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian, baik pengujian keefektivitasan alat ini dalam mendapatkan derajat temperatur yang diharapkan dan pengujian pada biji kopi yang dapat dihasilkan.



Gambar 2.4. Titik Pengujian Temperatur yang Dilakukan Pada Tabung Plat Konduktor

Beberapa data yang akan diambil untuk di analisa adalah temperatur tabung kaca dalam menerima energi matahari melalui radiasi, temperatur tabung plat konduktor pada 3 titik yang berbeda (sisi kiri, tengah, sisi kanan) dan beberapa data tekanan vakum sebagai mencari pengaruhnya dalam upaya mendapatkan tekanan yang sesuai dengan hasil temperatur alat yang diharapkan. Daya input yang dihasilkan dari pengujian dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$Q_{input} = \epsilon_1 \sigma_1 A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.1)$$

Dimana Q adalah kalor yang dihasilkan dalam proses radiasi, ϵ adalah emisivitas, σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann yang bernilai konstan sebesar $5,67 \times 10^{-8} [(W/m^2) \cdot K^4]$, A adalah luas permukaan sinar radiasi, T_1 adalah temperatur tabung plat konduktor sedangkan T_2 adalah temperatur lingkungan.

Kalor yang hilang dari sistem dapat dihitung dengan persamaan (2.2). Hal ini dikarenakan temperatur pada dinding kaca dan tabung plat konduktor diukur. Konduktivitas termal, ketebalan, dan area dari dinding yang terbuat dari styrofoam diketahui [8].

$$Q_{output} = k \frac{A}{l} \Delta T \quad (2.2)$$

Dengan telah diketahuinya informasi dari kalor yang hilang, maka efisiensi dapat diketahui dengan persamaan (2.3).

$$\eta = \frac{Q_{input} - Q_{output}}{Q_{input}} 100\% \quad (2.3)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Uji Pengaruh Panas yang Didapat dengan Keadaan Tidak Vakum

Tabel 3.1. Uji Coba Dengan Keadaan Tidak Vakum

Tekanan	Waktu (WIB)	Tlingkungan (°C)	Ttabung Kaca (°C)	Ttabung Plat 1 (°C)	Ttabung Plat 2 (°C)	Ttabung Plat 3 (°C)	Rata-Rata Ttabung Plat (°C)
Normal [1 atm]	11:00 – 11:25	30,6	41,6	42,1	43,8	42,3	42,73
	11:25 – 11:50	31,2	43	42,3	43,5	42,4	42,73
	11:50 – 12:15	31,5	40,9	42,8	43,5	42,5	42,93
	12:15 – 12:40	32,4	42,6	42,7	43,4	42,8	42,97
	12:40 – 13:05	31,9	43,3	43,1	43,3	42,6	43
	13:05 – 13:30	32,1	42,2	43,1	43,9	43,1	43,37
	13:30 – 13:55	32,1	42,9	43	43,9	43,3	43,4
	13:55 – 14:20	32,3	42,9	42,8	43,9	42,8	43,17
14:20 – 14:45	32,3	42,9	42,9	43,4	42,6	42,97	

Keterangan: Lokasi titik pengujian temperatur tabung plat 1, 2 dan 3 terdapat pada gambar 2.4.

Berdasarkan Tabel 3.1 di atas, terlihat bahwa dalam keadaan tidak vakum atau dengan tekanan tabung kaca berada pada tekanan 1 atm, tabung kolektor hanya bisa mendapatkan kenaikan temperatur sebesar 11,2°C dengan perbandingan yang dilakukan adalah pada temperatur lingkungan sekitar pengujian dengan temperatur rata-rata pada ketiga titik pengambilan data pada tabung plat konduktor. Pengujian dimulai pada hari pertama pukul 11:00 WIB dengan rentang waktu disetiap 25 menit dengan tujuan agar dapat memberikan waktu perpindahan panas secara konduksi pada temperatur tabung plat konduktor secara merata di ketiga titik. Dalam pengujian ini dapat diketahui bahwa kenaikan temperatur tersebut hanya didasari pada koefisien termal dari bahan konduktor yang digunakan yaitu plat aluminium.

b. Hasil Uji Pengaruh Panas yang Didapat dengan Keadaan Vakum

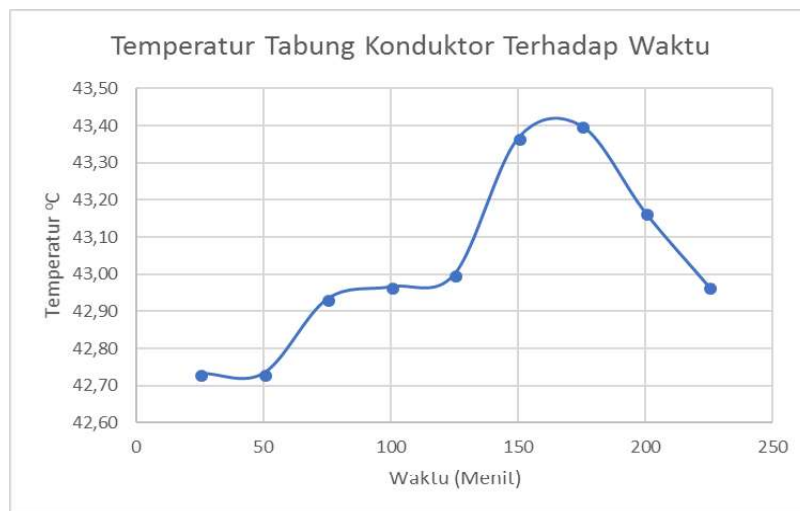
Tabel 3.2. Uji Coba Dengan Keadaan Tekanan Vakum

Tekanan (- inHg)	Waktu (WIB)	T _{lingkungan} (°C)	T _{Tabung Kaca} (°C)	T _{Tabung Plat 1} (°C)	T _{Tabung Plat 2} (°C)	T _{Tabung Plat 3} (°C)	Rata-Rata T _{Tabung Plat} (°C)
5	11:00 – 11:25	32	62,5	70,8	75,6	71,2	72,53
8	11:25 – 11:50	32,2	61,8	72,4	77,3	72,4	74,03
10	11:50 – 12:15	31,8	60,9	72,5	77,1	72,7	74,1
13	12:15 – 12:40	30,6	63,3	72,1	78,6	72,1	74,27
15	12:40 – 13:05	32,4	62,8	72,3	77,8	72,1	74,07

Keterangan: Lokasi titik pengujian temperatur tabung plat 1, 2 dan 3 terdapat pada gambar 2.4.

Setelah melihat tabel 3.2 di atas, dapat terlihat bahwa dengan keadaan tabung kolektor yang vakum dapat menghasilkan temperatur terbesar hingga 78,6°C dengan temperatur rata-rata pada ketiga titik pengambilan data di tabung plat konduktor sebesar 73,8°C. Dan kenaikan yang bisa didapatkan dengan perbandingan temperatur lingkungan sekitar adalah 42°C. Pengujian ini dilakukan pada hari kedua yang dimulai pada pukul 11:00 WIB dengan rentang waktu 25 menit sekali di setiap tahapan pengujiannya, dan tekanan vakum dibatasi hanya sampai -15 inHg untuk mencegah pecahnya tabung kaca. Setelah melakukan pengujian ini maka dapat diketahui adanya pengaruh kevakuman tabung kaca sebagai media wadah pengisolasi suatu ruang dengan derajat temperatur yang dapat dihasilkan, dimana semakin tinggi nilai tekanan vakum maka akan diikuti dengan kenaikan temperatur pada plat konduktor.

c. Hasil Uji Temperatur Pada Keadaan *Steady* Terhadap Waktu yang Dibutuhkan dengan Tidak Vakum



Gambar 3.1. Keadaan *Steady* Tabung Konduktor Saat Tidak Vakum

Dalam pengujian yang dilakukan setiap rentang waktu 25 menit, didapatkan titik temperatur 43,37°C – 43,4°C pada pengujian ke-6 dan ke-7 saat 150 menit dan 175 menit pengujian adalah puncak *steady* yang bisa didapatkan. Hal ini mengacu pada titik kritis yang didapat dengan penurunan temperatur pada rentang waktu 25 menit hingga 225 menit pengujian. Hal tersebut didasari pada kenaikan intensitas cahaya matahari yang berada di lokasi pengujian pada jam 13:00 WIB hingga 14:00 WIB.

d. Hasil Uji Temperatur Pada Keadaan *Steady* Terhadap Waktu yang Dibutuhkan dengan Keadaan Vakum



Gambar 3.2. Keadaan *Steady* Tabung Konduktor dengan Keadaan Vakum

Pada Gambar 3.2 dapat ditunjukkan dengan keadaan vakum, temperatur *steady* yang dihasilkan dapat dikatakan terjadi pada rentang waktu yang lebih cepat, yaitu saat pengujian kedua pada waktu pengujian berjalan 50 menit hingga 125 menit sudah didapatkan titik temperatur *steady* pada kisaran temperatur 74,03°C hingga 74,27°C. Hal ini didasari dengan adanya perbedaan tekanan, maka proses kehilangan panas secara konveksi dengan udara semakin mengecil dan membuat panas dari sinar matahari akan lebih cepat masuk kedalam sistem dan mempercepat kenaikan temperatur di tabung plat konduktor.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian alat *roaster* kopi tanpa listrik dengan menerapkan jenis *evacuated tube solar collectors* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada pengujian alat saat keadaan tekanan normal didapati kenaikan temperatur yang terjadi hanya sebesar 11,2°C dengan membandingkan temperatur lingkungan sekitar dan temperatur yang didapatkan pada tabung plat konduktor.
- Saat tabung kaca diberi tekanan vakum kenaikan temperatur plat konduktor yang dapat dihasilkan terhadap temperatur lingkungan adalah 42°C
- Tabung kolektor yang diberikan tekanan vakum memiliki efisiensi lebih baik dibanding dengan keadaan tekanan normal, dengan 73,28% untuk keadaan vakum sedangkan 44,34% untuk tidak vakum.
- Waktu untuk mencapai titik *steady* pada keadaan tidak vakum membutuhkan waktu yang lebih lama yaitu 150 menit dibandingkan untuk tabung kolektor vakum yang hanya membutuhkan waktu 50 menit.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa Tahun 2018 pada bidang Karsa Cipta.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pertanian. 2016. *Outlook Kopi: Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian.
- [2] Rozi Wiranata. 2016. *Pengaruh Tingkat Penyangraian Terhadap Karakter Fisik dan Kimia Kopi Robusta (Coffea canephora. L)*. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- [3] Mulato S. 2002. *Mewujudkan Perkopian Nasional yang Tangguh Melalui Diversifikasi Usaha Berwawasan Lingkungan dalam Pengembangan Industri Kopi Bubuk Skala Kecil Untuk Meningkatkan Nilai Tambah Usaha Tani Kopi Rakyat Denpasar*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 16-17 Oktober 2002.

- [4] Fadly Rian A, Mulfi Hazwi. 2014. *Rancang Bangun Prototype Kolektor Surya Tipe Plat Datar Untuk Penghasil Panas Pada Pengering Produk Pertanian dan Perkebunan*. Jurnal e-Dinamis Vol. 8, No. 4, Maret 2014.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2004. *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau)*. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 0002 Tahun 2004, hal 5.
- [6] Philip Kristanto, James Laeyadi. 2000. *Kolektor Surya Prismatic*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 2, No.1, April 2000, hal 22-28.
- [7] Jack P. Holman. 1997. *Heat Transfer, Sixth Edition*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [8] Duffie John, Beckman William. 1991. *Solar Engineering for Thermal Process, John Willey dan Sons, New York*.
- [9] Stephanie Rawi. 2014. *Pengembangan dan Studi Tabung Solar Kolektor dengan Pipa Kalor Ganda untuk Meningkatkan Efisiensi Solar Water Heater*. Jurnal Departemen Teknik Mesin FTUI.

MODIFIKASI SISTEM SLIDE GATE 392-SG1/2/3 di UNDER GAS CONDITIONING TOWER

Unggul Wahyu Aji¹, Hamdi², Arif Suryono³

¹ Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp: (62-21) 7863530,
Fax: (62-21) 7863530, unggulwahyu.holcim@gmail.com

² Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp: (62-21) 7863530,
Fax: (62-21) 7863530, hamdiandy@yahoo.com

³[PT. Holcim Indonesia Tbk.](http://PT.Holcim Indonesia Tbk)

Abstrak

Keamanan merupakan salah satu target utama dalam kegiatan industri, baik keamanan bagi pekerja, alat, maupun lingkungan. Salah satu upaya untuk meningkatkan keamanan tersebut adalah dengan mengubah peralatan yang dirasa kurang aman agar menjadi lebih aman dengan modifikasi. Tingginya potensi bahaya yang terjadi di area bawah Gas Conditioning Tower PT Holcim Indonesia Pabrik Cilacap adalah paparan debu panas yang mengalir dari saluran duct inlet Raw Mill yang menuju ke Electronic Precipitator. Sebelumnya digunakan valve putar untuk menggerakkan damper pembuka. Hal tersebut dinilai kurang aman bagi pekerja karena kontak yang terlalu dekat dengan peralatan.

Adanya permasalahan tersebut, dirasa perlu adanya bentuk penyempurnaan peralatan pengganti valve putar agar pekerja bisa menggerakkan damper pengarah material dari jarak yang aman dan masih tetap bisa melakukan pengawasan serta pengontrolan. Salah satu bentuk penyempurnaan yang ditawarkan adalah mengganti dari penggunaan valve putar sebagai penggerak damper menjadi penggunaan silinder pneumatic sebagai penggerak damper, atau yang biasa disebut dengan Slide Gate.

Hasil yang didapat dari bentuk penyempurnaan tersebut adalah meningkatnya tingkat keamanan terutama pada keamanan pekerja. Jika menggunakan Slide Gate, pekerja hanya perlu mengatur tuas pengontrol yang berjarak sekitar 7 meter dari peralatan chain conveyor yang kemudian akan menggerakkan silinder untuk menggerakkan damper ke posisi buka/tutup. Penggunaan silinder pneumatic juga dapat meningkatkan kecepatan aliran material, dengan hal itu maka peralatan chain conveyor tidak akan menerima beban berlebih karena adanya penumpukan material dan material tidak berhamburan ke lingkungan karena damper dibuka/ditutup sesuai dengan keinginan dan dalam tempo waktu yang singkat.

Kata Kunci : Keamanan pekerja, slide gate, pneumatik

Abstract

Safety is one of the targets in all industry, which is for the worker, equipment or environment. Which one way to improve the safety is with improving the equipment by redesigning it to gain the best safety factor. The highest hazard in under Gas Conditioning Tower area PT Holcim Indonesia Cilacap Plant is hot dust that flows from inlet Raw Mill duct to Electronic Precipitator. The previous method is using the rotating valve to push/pull the dumper to flow the hot dust to dust bunker that is counted as high hazard activity for the worker.

Considering that case, to reduce the hazard, they need to improve the rotating valve with other method that still gives the worker ability to control the damper in a safer area. To do that we, offer the Slide Gate method that applies pneumatic cylinder to pull/push the damper.

With the new method, we hope it can reduce the hazard on the under Gas Conditioning Tower area. With the Slide Gate method, the worker only needs to control the manual lever directional valve which is installed 7 meter away from the chain conveyor that will control the damper in open/close position, but the worker still can watch the equipment directly. The other advantages investing in this method are the material can move quickly so it can give lower load to the equipment chain conveyor and fast movement of material can reducing the hot dust material in the environment.

Keywords : Worker's safety, slide gate, pneumatic

I. PENDAHULUAN

Tingkat paparan debu panas yang mengalir dari preheater menuju EP (*Electro Precipitator*) dirasa cukup tinggi dan berbahaya bagi pekerja di area under GCT (*Gas Conditioning Tower*). Akumulasi material debu pasas akan semakin banyak ketika *Kiln* dalam keadaan menyala dan *Raw Mill* dimatikan. Aliran debu panas ketika melewati GCT (*Gas Conditioning Tower*) seharusnya mengalir jatuh ke *Chain Conveyor* di bawahnya dengan bantuan petugas produksi yang membuka valve putar. Kegiatan ini sangat berbahaya karena jarak

antara *valve* putar dan *chute* sangat dekat serta beresiko menghentikan laju aliran karena kekuatan pekerja tidak dapat diperkirakan secara sempurna ketika melakukan aktivitas ini. Untuk itu dipihlah metode slide gate untuk mengurangi tingkat paparan debu panas yang dapat dikendalikan dari jarak yang cukup jauh dan mengurangi potensi terhentinya aliran material. [2]

Kegiatan petugas produksi yang harus membuka dan menutup *gate valve* dengan memutar *valve* putar di bawah GCT dinilai kurang aman. Petugas harus berada di dekat *duct outlet* GCT untuk memutar *valve*, tak jarang ada semburan material debu panas yang tersembur degan cepat dan bertebaran keluar. Karena itu, penggunaan Slide Gate dinilai lebih safety daripada valve putar, katerna pengendaliannya bisa dilakukan dari jarak yang aman dan pembukaan gate bisa dilakukan dengan cepat sesuai dengan keinginan yang bisa meminimalisir terjadinya penumpukan material di area 392-CV1[1].

Resiko yang didapat ketika terjadi penumpukan material di area tersebut yaitu dapat mematikan peralatan lain seperti *Raw Mill* atau *Kiln* yang jika hal tersebut terjadi maka bisa dipastikan kegiatan produksi bisa terganggu dan menyebabkan kerugian bagi perusahaan. Seperti yang pernah terjadi ,peralatan 392-CV1 mengalami penumpukan material dan beban berlebih yang akhirnya berhenti[2]. Karena adanya proses *interlock*, maka peralatan *kiln* akhirnya berhenti selama 31 jam. Dengan estimasi harga klinker Rp. 200.000,00/ton dan kapasitas produksi *kiln* 325t/jam, maka perusahaan kehilangan Rp 2.015.000.000,00 karena tidak dapat melakukan produksi klinker dikarenakan oleh adanya beban berlebih dan akumulasi material debu di 392-CV1[3].

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dari tugas akhir berguna untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan dan menjawab permasalahan yang telah dirumuskan dengan berbagai macam tahap penelitian agar lebih terarah. Metode-metode yang digunakan untuk meyelesaikan tugas akhir ini meliputi:

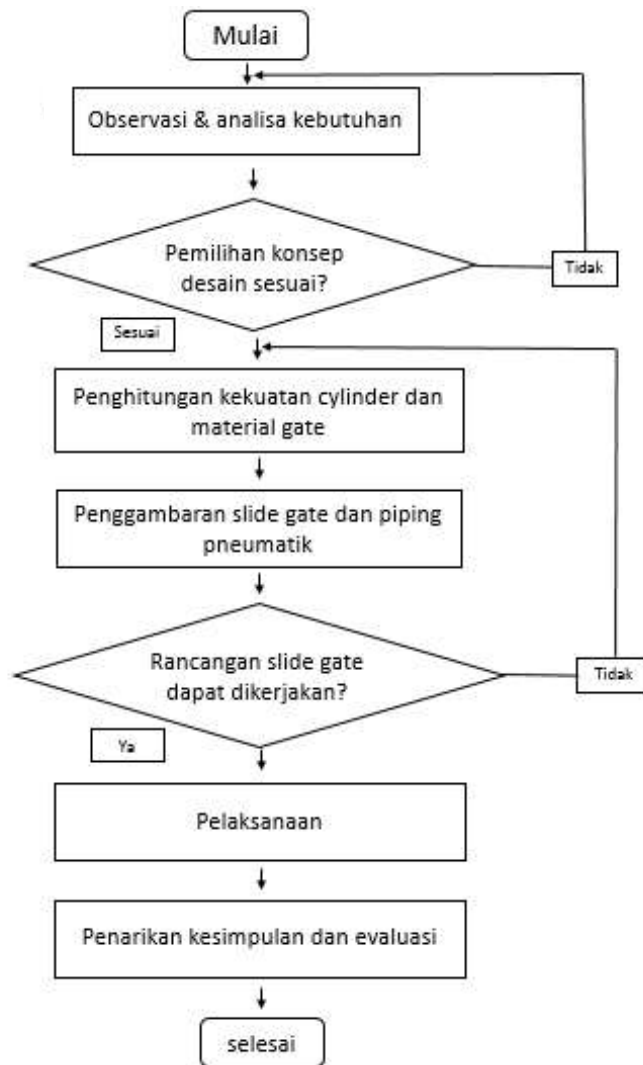


Diagram 1 Metode penelitian

Pada tahap awal, dilakukan observasi untuk mengidentifikasi masalah melalui survey, dan pengumpulan data yang berkaitan dengan kebutuhan yang diperlukan dalam memodifikasi *slide gate*. Dilakukan juga pengukuran lokasi, studi buku manual untuk mengetahui konsep dan desain yang dibutuhkan serta diskusi dan wawancara kepada pihak terkait seperti *team member* yang bertanggung jawab di area tersebut untuk mendapatkan informasi bagaimana perangkat *slide gate* saat ini yang diterapkan pada area bawah *gas conditioning tower*. Setelah mendapat rancangan konsep dan desain yang sesuai yaitu dengan silinder pneumatik dilakukan pengukuran kekuatan silinder pneumatik yang dibutuhkan.

Survei lapangan dan diskusi dengan pembimbing lapangan untuk menentukan bentuk kerangka dudukan silinder yang paling efektif untuk diterapkan di area bawah *gas conditioning tower*. Pemilihan material dan peralatan pendukung berdasarkan pertimbangan pemilihan konsep desain yang akan diterapkan untuk *slide gate*. Dari perhitungan besar ukuran silinder yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *slide gate*, dilakukan desain sistem dan skema gambar rangkaian kerja dari sistem *slide gate* yang akan diterapkan di area bawah *gas conditioning tower*. Pada tahap terakhir diambil data seperti beban pada 392-CV1 (Chain Conveyor) untuk mengetahui dampak positif setelah dilakukan pemasangan *slide gate*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Identifikasi penyebab terjadinya kondisi tidak aman di area *Under GCT*

Dari hasil observasi, ditemukan peluang meningkatkan tingkat kemanan pekerja di area under GCT dan menambah kelancaran proses aliran dust.

Selama ini proses pengaliran material menggunakan proses manual yaitu dengan memutar *valve* putar, hal ini tentunya memiliki banyak kekurangan dan dipandang kurang aman bagi pekerja yang melakukan kegiatan tersebut. Selain itu dengan memutar *valve* secara manual beresiko menghambat laju *dust* yang bisa menyebabkan bloking di area 392-CV1 dan bisa mengakibatkan peralatan sebelumnya berhenti yang nantinya akan menghentikan kegiatan produksi[1].

Penggunaan *slide gate* yang menggunakan tenaga silinder pnaumatik sebagai penggeraknya dinilai bisa meningkatkan tingkat kemanan untuk pekerja tersebut. Jarak tuas kontrol *slide gate* dapat diletakan sesuai keinginan di tempat yang dilinai aman. Selain menambah jauh jarak antara kontak pekerja dengan material panas, pekerja tersebut juga masih dapat melihat secara langsung ke arah aliran material jika sewaktu-waktu terjadi hal yang tidak diinginkan.

Nilai investasi awal yang cukup rendah juga memberikan nilai tambah untuk melakukan instalasi *slide gate*, dengan memanfaatkan silinder bekas yang sudah disservice ulang dapat menekan kebutuhan silinder yang akan di pasang.

Berdasarkan fakta dan kebutuhan tersebut, kita dapat menarik akar masalah serta merancang sistem *slide gate* yang tepat guna dengan tujuan investasi untuk meningkatkan keamanan pekerja dan meningkatkan laju aliran material.



Gambar 1 Kondisi tidak aman di area Under GCT



Gambar 2 Lokasi pembuka damper yang sangat dekat dengan equipment

Berikut adalah analisis akar masalah kondisi tidak aman di area bawah *GCT*:

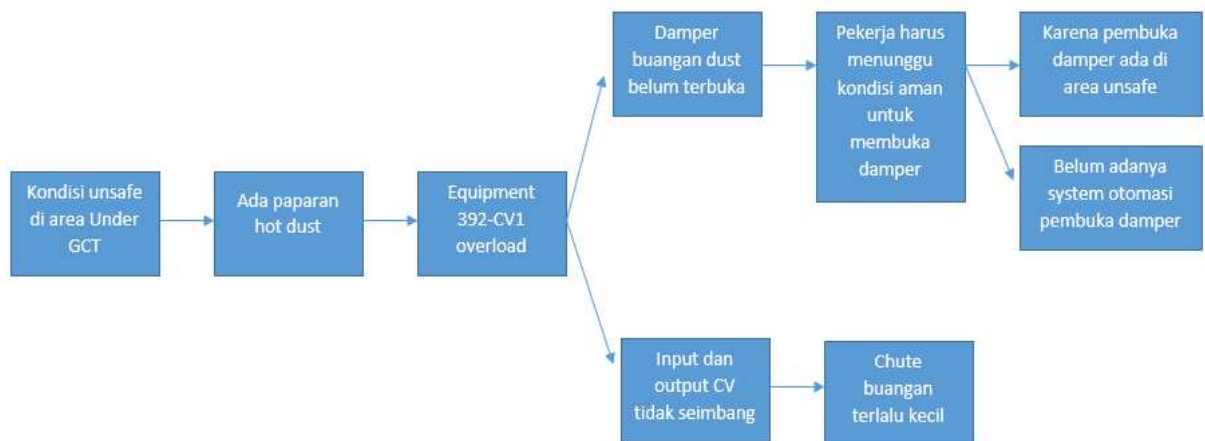


Diagram 2 penarikan akar masalah

Setelah dilakukan analisis, maka diambil kesimpulan bahwa ada dua akar masalah penyebab kondisi tidak aman di area bawah *GCT*, yaitu:

a. Lokasi pembuka damper ada di area tidak aman.

Saat terjadi kelebihan beban pada peralatan 392-CV1 akan ada akumulasi debu panas di sekitaran area peralatan tersebut. Dengan kondisi tersebut, pekerja harus mengabaikan potensi bahaya tadi untuk membuka damper yang berada tepat di depan peralatan 392-CV1. Solusi yang ditawarkan adalah menginstall *slide gate* dengan tenaga pneumatik untuk membuka damper yang pengontrolannya bisa dari jarak jauh.

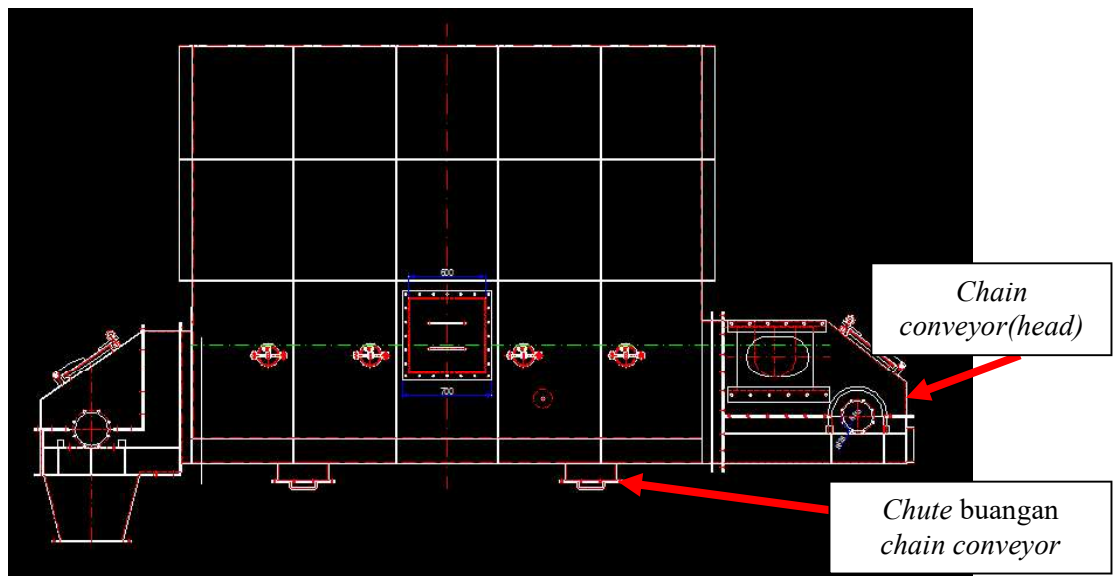
b. Belum adanya sistem otomasi pembuka damper otomatis.

Dengan memanfaatkan sistem otomasi PLC (Programmable Logic Controller) sebenarnya memberikan manfaat yang lebih, yaitu bisa meminimalisir bahaya bagi pekerja, pekerja tidak lagi perlu melakukan pembukaan damper secara manual karena proses tersebut akan dikerjakan dengan proses PLC, namun solusi ini bisa dilakukan jika *valve* putar sudah dimodifikasi dengan *slide gate* pneumatik atau *motorized*. Selain itu biaya modifikasi dinilai lebih besar daripada hanya memodif *valve* putar menjadi *slide gate* pneumatic atau *motorized*.

c. Chute buangan terlalu kecil.

Penyebab lain yang menimbulkan kondisi tidak aman di area bawah *GCT* yaitu karena chute buangan 392-CV1 yang terlalu kecil sehingga membuat equipment tersebut kelebihan beban dan membuat debu berterbangan keluar karena adanya tekanan di dalam CV(Chain Conveyor) dan chute. Solusi untuk permasalahan ini adalah memperbesar ukuran *chute* atau menambah jumlah *chute* buangan.

Dari semua permasalahan, solusi memodifikasi *slide gate* yang memanfaatkan *valve* putar menjadi *slide gate pneumatic/motorized* menjadi prioritas utama. Karena dinilai cukup cepat dalam proses pengerjaan dan nilai investasi cukup rendah.



Gambar 3 Chain conveyor 392-CV1

2. Menentukan jenis *slide gate* yang digunakan

Terdapat 2 jenis *slide gate* yang dapat digunakan yaitu *slide gate* yang direkan silinder *pneumatic* atau *slide gate* yang digerakan motor listrik. Untuk mengetahui yang mana yang paling ideal digunakan tabel kriteria konsep dengan skor 1-3 (1 = paling buruk, 3 = paling baik).

Tabel 1 Kriteria pemilihan konsep

Kriteria	Konsep	
	Pneumatik	motor listrik
Kemudahan pengerjaan	3	2
Kontrol operasi dan monitoring	2	2

Biaya pembuatan	3	2
Kemudahan perawatan	3	1
Kesesuaian lokasi & equipment	2	2
Keawetan	2	3
Keamanan	3	3
Score Total	18	15

Sesuai dengan hasil penilaian, dipilihlah *slide gate* dengan tenaga silinder *pneumatic*.

3. Menentukan ukuran silinder pneumatic

Ukuran silinder *pneumatic* akan sangat menentukan berapa kekuatan yang akan dihasilkan. Kekuatan silinder sebanding dengan luas selongsong silinder dan tekanan yang digunakan. Untuk menentukan apakah silinder bisa digunakan, harus dibandingkan dengan beban yang diterima, yaitu beban damper, beban material, beban *draft* operasi[4].

a. Menentukan beban total

- Beban damper.

Beban damper didapat dengan mengalikan massa jenis dengan volume damper. Damper yang digunakan sama dengan damper sebelum modifikasi.

Material damper 3Cr16, $\rho = 7,68 \text{ gr/cm}^3$

Volume damper = $46\text{cm} \times 70\text{cm} \times 1,6\text{cm} = 5152\text{cm}^3$

Koefisien gesek material = 0,61

Beban damper = **volume** \times ρ [persamaan 1]

$$\begin{aligned}
 &= 5152 \times 7,68 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \\
 &= 39567,36 \text{ g} \rightarrow 40\text{kg} \\
 &= 392 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Beban damper total = **$392 \times 0,61 = 239,12\text{N}$**

- Beban material.

Beban material didapat dari mengalikan massa jenis dust dengan volume *chute*. Untuk medapat beban maksimal, maka *chute* dianggap penuh dengan material atau volume *chute* sama dengan volume material[5].

Material dust, $\rho = 1,59 \text{ gr/cm}^3$

Volume material = $38,8\text{cm} \times 64,8\text{cm} \times 9,1\text{cm} = 22879,584\text{cm}^3$

Beban material = $1,59 \text{ gr/cm}^3 \times 22879,584\text{cm}^3$ [persamaan 1]

$$= 36378,538\text{gr} \rightarrow 356,509\text{N}$$

- Beban *draft*.

Beban *draft* ada karena terdapa dorongan udara untuk melancarkan proses aliran material. Beban *draft* bernilai 0,5 bar = 50000 Pa. Menentukan besaran beban *draft* dapat dicari dengan mengalikan tekanan dengan luas permukaan ,yaitu permukaan *chute*.

$$A \text{ chute} = 64,8\text{cm} \times 38,8\text{cm} = 2514,424\text{cm}^2 \rightarrow 0,2514\text{m}^2$$

$$\text{Beban draft} = A(\text{area}) \times \text{pressure} \dots \dots \dots [\text{persamaan 2}]$$

$$0,2514\text{m}^2 \times 50000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 12571\text{N}$$

- **Beban total.** Beban total yaitu jumlah dari semua beban

$$\begin{aligned} \text{Beban total} &= \text{b. draft} + \text{b. material} + \text{b. damper} \dots \dots \dots [\text{persamaan 3}] \\ &= 12571\text{N} + 356,509\text{N} + 239,12\text{N} \end{aligned}$$

$$= 13166,829\text{N}$$

b. Menentukan kekuatan silinder *pneumatic*

Silinder *pneumatic* yang diperlukan adalah silinder *pneumatic* yang menghasilkan kekuatan diatas 13166,829N, dan beroperasi pada tekanan 5 bar atau 500000Pa.

Silinder *pneumatic* diameter 200mm, diameter *rod* 50mm

Untuk mencari gaya minimal yang bekerja digunakan area retract pada silinder[5].

$$\begin{aligned} A_{\text{cyl}} &= A_{\text{selongsong}} - A_{\text{rod}} \dots \dots \dots [\text{persamaan 4}] \\ &= \pi \times r^2_{\text{sel}} - \pi \times r^2_{\text{rod}} \end{aligned}$$

$$= \pi \times 0,1^2\text{m} - \pi \times 0,025^2\text{m}$$

$$= 0,0314\text{m}^2 - 1,96 \times 10^{-3}\text{m}^2$$

$$= 0,0294\text{m}^2$$

$$F_{\text{cyl}} = A_{\text{cyl}} \times \text{tekanan} \dots \dots \dots [\text{persamaan 5}]$$

$$= 0,0294\text{m}^2 \times 500000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 14718,75\text{N}$$

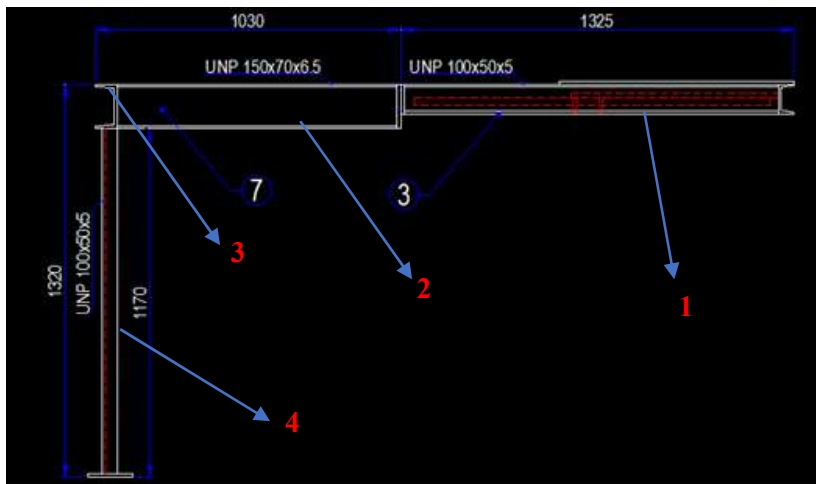
- b. Membandingkan kekuatan silinder dengan beban total sebagai acuan safety factor.

$$SV = \frac{F_{\text{cyl}}}{F_{\text{beban}}} \dots \dots \dots [\text{persamaan 6}]$$

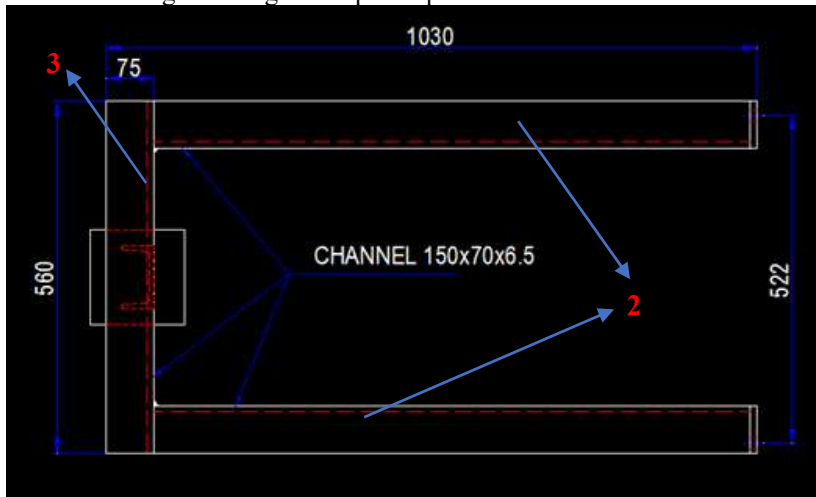
$$= \frac{14718,75\text{N}}{13166,829\text{N}} = 1,11$$

Dengan hasil tersebut, dipastikan silinder *pneumatic* berdiameter 200mm dapat digunakan. Ketika damper terbuka sedikit, maka beban *draft* yang diterima juga semakin kecil karena damper yang berhadapan dengan chute semakin kecil karena bergeser. Contoh jenis silinder yang dapat digunakan adalah silinder pneumatik Parker P1D-T0200MS-0600[6].

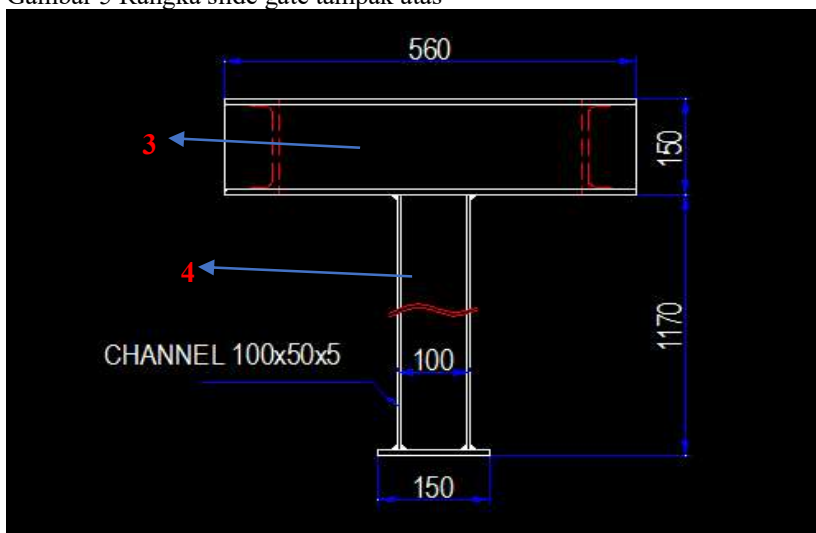
4. Menentukan kekuatan rangka slide gate



Gambar 4 Rangka slide gate tampak depan



Gambar 5 Rangka slide gate tampak atas



Gambar 6 Rangka slide gate tampak samping kiri

Keterangan =

Pos 1 = merupakan tempat dudukan damper, merupakan dudukan asli tanpa modifikasi.

Pos 2 = merupakan rangka yang mensupport dudukan silinder agar tidak bergerak.

Pos 3 = merupakan tempat dudukan silinder pneumatic. Dikenai beban bending tipe 3 ketika silinder bekerja

Pos 4 = support dudukan silinder pneumatic. Pos ini dikenai beban buklung dari beban silinder, beban pos 3 dan 4.

a) Beban di pos 3

Berdasarkan desain, pos 3 akan dikenakan beban bending tipe 3. Beban ini didapat dari efek gerakan silinder *pneumatic*. Pos 3 disuport oleh pos 2 dengan menggunakan sambungan las *corner joint* dengan elektroda LB-52U E7016. Material yang digunakan adalah UNP150x70x6,5 St.37[7].

$$Mb = \frac{F \times l}{8} \dots\dots\dots [persamaan 7]$$

$$= \frac{15700 \times 56cm}{8} = 109900Ncm$$

$$\tau_b = \frac{Mb}{W} \dots\dots\dots [persamaan 8]$$

$$= \frac{109900Ncm}{8,49 \frac{N}{cm^3}} = 12944,64 \frac{N}{cm^2} = 129,446 \frac{N}{mm^2}$$

Material dinilai aman karena masih mampu menahan tegangan bengkok sampai $170 \frac{N}{mm^2}$

Mencari lebar welding “s” (mm)

$$\tau_b \max = \frac{\tau_b}{v} \dots\dots\dots [persamaan 9]$$

$$= \frac{129,446}{4} = 32,361 \frac{N}{mm^2}$$

$$s = \frac{F}{0,707 \times l \times \tau_b \max} \dots\dots\dots [persamaan 10]$$

$$s = \frac{15700N}{0,707 \times 150mm \times 32,361 \frac{N}{mm^2}} = 4,57mm$$

Lebar las minimum yang diperlukan dengan nilai keamanan 4 adalah 4,57mm

b) Beban di pos 4

Pada pos 4 dikenai beban bukling dari berat silinder *pneumatic* 30kg = 294N, dan beban frame pos 3 sepanjang 56cm= 6kg = 58,8N dan pos 4 dengan gaya 156,8N. Material yang digunakan adalah st.37 denang profil UNP 100x50x5[8].

$$F_{bmax} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{l u^2 \times v} \dots\dots\dots [persamaan 11]$$

$$= \frac{\pi^2 \times 18 \times 10^6 \frac{N}{cm^2} \times 206cm^4}{(0,5 \times 117cm)^2 \times 4}$$

$$F_{bmax} = 2,6 MN$$

Dipastikan dengan material dan ukuran yang ducantumkan untuk pos 4 pasti mampu menerima beban bukling hingga 2,6MN

5. Hasil modifikasi

a. Keamanan pekerja.

Berdasar hasil modifikasi, hilangnya *valve* putar yang digantikan oleh silinder pneumatik dapat meningkat karena pekerja hanya perlu mengatur lewat tuas pengontrol yang diletakan dalam ruangan *raw mill* area.

b. Laju aliran material.

Berkat adanya modifikasi, ketika terjadi beban berlebih pekerja bisa langsung membuka damper buangan dari tempat yang aman, dengan itu material bisa langsung keluar dan tidak menimbulkan penumpukan material dan beban berlebih pada peralatan 392-CV1.

IV. KESIMPULAN

- a. Untuk meningkatkan tingkat keamanan pekerja di area bawah *Gas Conditioning Tower* dapat digunakan metode *slide gate* yang dapat dioperasikan dari jarak yang cukup jauh. Pekerja bisa berada di jarak sekitar 7 meter dari peralatan, namun masih bisa melakukan pengawasan secara langsung, dibandingkan dengan *valve putar* yang harus digerakan secara manual dan pekerja berhadapan langsung dengan peralatan.
- b. Dengan adanya modifikasi, laju aliran debu panas diharapkan bertambah lancar yang dapat dimonitor dari beban peralatan 392-CV1.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. J. Asmoro, "Normalization For GCT Performance and Unsafe Condition in Time of Problem in The GCT Area " PT Holcim Indonesia Tbk, Cilacap Plant, Cilacap 2018.
- [2] C. P. PT Holcim Indonesia. (2018, 30 Mei). Technical Information System Raw Mill Overflow. Available: hc/tis/cc/serve
- [3] M. A. R. A. Baab and G. O. Dyanddini, "Analisis of Roller Deviation at Apron Conveyor 492-AC1," Studi Kasus, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta Cilacap 2017.
- [4] G. J.K. and Khurmi, A Textbook Of Machine Design. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT) LTD45D, 2005.
- [5] N. D. Ristanto, "Pengaruh Kadar Fly Ash Terhadap Peningkatan Kuat Tekan dan Setting Time pada Semen Tipe OPC," Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta Tuban, 2018.
- [6] Parker, "Parker Pneumatic Catalog product," ed, 2016.
- [7] F. B. Cahyono, "Modifikasi Support Sliding Pipeline Jetty," Diploma III Final Project, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta Tuban, 2017.
- [8] Sularso and Kyokatsu, Dasar Perancangan dan Pemilihan Elemen Mesin 1 ed. Jakarta: PT Pratnya Pradana, 1990.

OPTIMALISASI PUTARAN GENERATOR PADA TURBIN ANGIN HORIZONTAL MENGUNAKAN TRANSMISI BERTINGKAT

Agus Sukandi¹; Faris Sahrin²; Fadli³; Andi Ulfiana⁴

Jurusan Teknik Mesin Prodi Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G. A Siwabessy, Kampus baru UI, Beji, Kukusan, Kota Depok, Jawa Barat 16424, Indonesia.

Tel: 082298482766, Email: Fadli.0696@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan adalah energi angin. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar poros turbin dengan memanfaatkan energi angin. Tujuan dari tugas akhir ini adalah menguji dan menganalisa kinerja transmisi bertingkat dengan arduino pada turbin angin horizontal. Dengan mengetahui kecepatan angin tidak selalu tetap, maka dibutuhkan upaya untuk menyesuaikan kecepatan angin dengan turbin angin yaitu dengan menggunakan transmisi bertingkat. Transmisi ini berfungsi untuk mengubah kecepatan dan energi putaran dari gear penggerak menuju ke gear yang digerakkan, pada angin berkecepatan rendah dan putaran turbin rendah turbin angin mampu mempertahankan kerja sehingga energi putaran turbin masih mampu memutar generator. Transmisi ini dilengkapi dengan arduino sebagai penerima inputan berupa rpm untuk memberikan perintah supaya transmisi dapat berpindah dari tingkat ke tingkat berikutnya. Tugas akhir ini diharapkan akan memberikan alternatif energi terbarukan yang dapat menjadi pembelajaran bagi mahasiswa dan sumber energi alternatif bagi masyarakat untuk membuat pembangkit listrik tenaga angin.

Kata kunci: Kecepatan angin, Turbin angin, Transmisi bertingkat

ABSTRACT

One alternative energy that can be used is wind energy. Wind power is a method to generate electrical energy by turning the turbine shaft resulting force form wind energy. The purpose of this final task is to test and analyze the performance of multilevel transmission with arduino in horizontal wind turbine. By knowing fluctuted wind speed, it takes effort to adjust the wind speed with a wind turbine using multilevel transmission. This transmission serves to change the speed and energy of the rotation form the driving gear to the moving gear, at low speed winds and turbine run in low spins, the wind tubrin is able to sustain the work so that turbine spin energy is still capable of turning the generator. This transmission is equipped with an arduino as a receiver input in the form of rpm to give commands so that transmission can move from one level to the next level This final project is expected to provide a renewable energy alternative that can be a learning for students and alternative energy sources for the community to create a wind power plant.

Keywords: Wind speed, Wind Turbine, Multi level Transmission

I. PENDAHULUAN

Pemakaian Energi Fosil yang terus meningkat dari waktu ke waktu menjadi perhatian khusus. Sehingga mulai dilakukan cara untuk menghemat energi fosil agar tidak cepat habis. Salah satunya ialah dengan pemanfaatan energi alternatif. Angin ialah salah satu energi alternatif yang sangat melimpah ketersediaannya. Menurut hasil penelitian Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), dari 166 lokasi yang diteliti, terdapat 35 lokasi yang mempunyai potensi angin yang bagus dengan kecepatan angin diatas 5 meter perdetik pada ketinggian 50 meter. Daerah yang mempunyai kecepatan angin bagus tersebut, diantaranya Nusa Tenggara Barat (NTB), Nusa Tenggara Timur (NTT), pantai selatan jawa dan pantai selatan sulawesi, disamping itu LAPAN juga menemukan 34 lokasi yang kecepatan angin mencukupi dengan kecepatan 4 sampai 5 meter perdetik.[1]

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik semakin besar namun semakin terbatasnya energi listrik yang tersedia dan letak suatu aktivitas manusia memerlukan akses yang mudah dan didukung oleh infrastruktur layanan energi listrik. Untuk itu dirasa perlu membuat sebuah inovasi yang dapat membantu kebutuhan listrik dengan memanfaatkan angin. Turbin angin dengan memanfaatkan kecepatan angin untuk dapat memutar kincir/*blade* sehingga dapat diteruskan energinya menjadi energi listrik. Namun laju angin tidak selalu tetap [2]. Maka dibutuhkan alat untuk menyesuaikan hasil energi angin yang didapat dengan laju angin yang selalu berubah-ubah, yaitu dengan memanfaatkan Transmisi bertingkat. Transmisi ini digunakan untuk mengubah kecepatan dan torsi (putaran) dari gigi penggerak menuju ke gigi yang digerakkan. Sehingga pada saat angin dengan kecepatan tinggi dan putaran *blade* tinggi, pada saat yang bersamaan sensor RPM akan mendeteksi putaran generator dan kemudian memberikan perintah pada *motor servo* agar rantai tersebut pindah secara otomatis yang digerakan oleh motor *servo* menuju ke gigi transmisi kecil yang terhubung pada *generator*, sehingga didapatkan perbandingan *ratio* yang maksimal seperti desain yang terlihat pada Gambar 1. Namun pada saat angin dengan kecepatan rendah dan putaran *blade* rendah, maka sensor rpm memberikan perintah pada *motor servo* untuk memindahkan rantai tersebut ke gigi transmisi besar. Sehingga walaupun dengan kecepatan angin yang rendah, turbin angin masih dapat mempertahankan kerjanya. Sehingga tidak membutuhkan kecepatan angin tinggi untuk menghasilkan energi listrik. Sehingga turbin angin dapat bekerja optimal baik saat angin berkecepatan tinggi maupun rendah.



Gambar. 1 *Design Turbin Angin menggunakan transmisi*

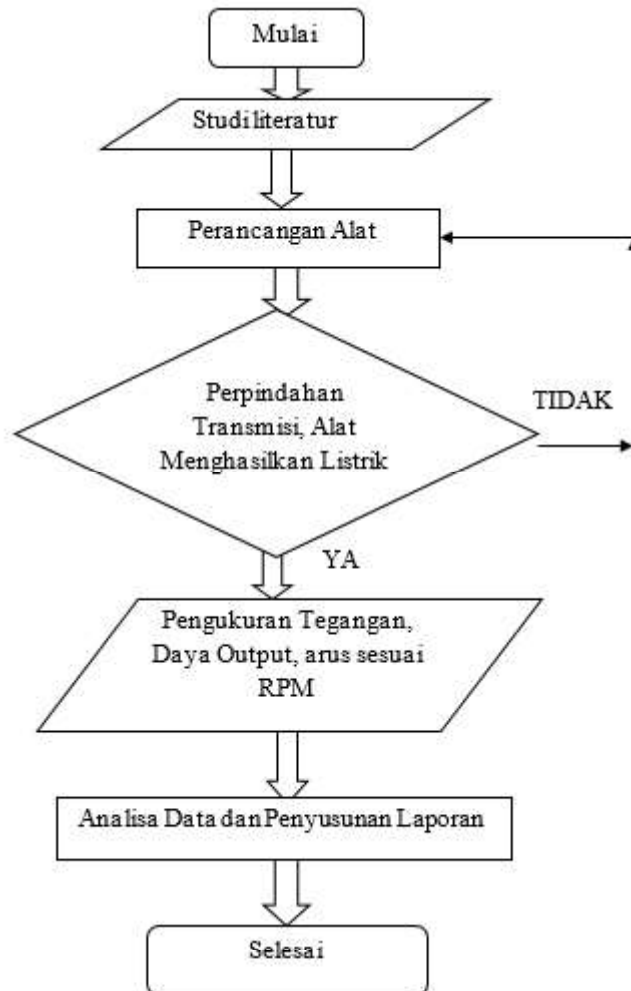
Para peneliti sebelumnya yang telah melakukan kajian tentang turbin angin yaitu melakukan studi eksperimental rancang bangun turbin angin tanpa menggunakan transmisi dengan menghasilkan putaran maksimal *generator* 230 rpm dan daya listrik 1.681 Watt.[3]

Keterbaruan dari penelitian ini adalah penulis ingin mengoptimalkan putaran *generator* dengan menggunakan transmisi bertingkat seperti Gambar 1. Diharapkan hasil dari tugas ini dapat menjadi

pembelajaran bagi mahasiswa dan sumber energi alternatif bagi masyarakat untuk membuat pembangkit listrik tenaga angin.

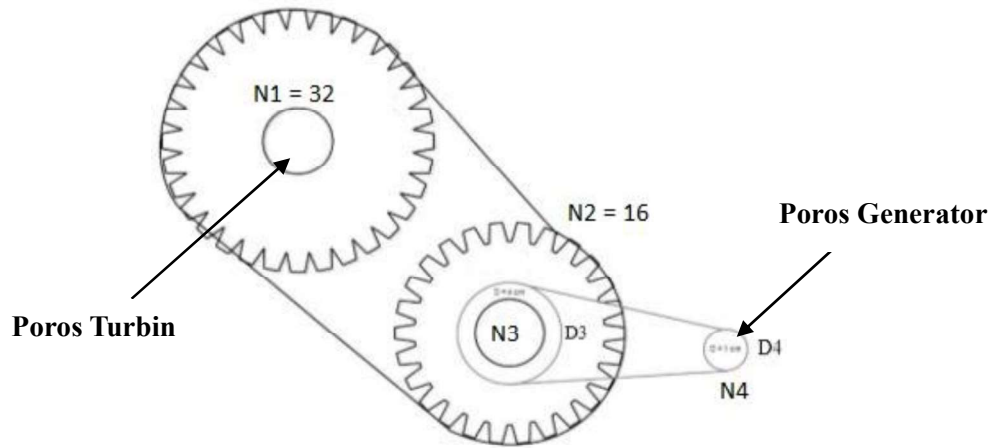
II. METODE PENELITIAN

Keseluruhan sistem dalam pengujian baik komponen dan alat diharapkan dapat terealisasi sesuai rencana. Untuk itu agar mencapai tujuan yang diharapkan, dibuatlah suatu metode yang digambarkan dengan diagram alur di bawah ini:



Gambar 2.1. *Flow chart* metode penelitian

Persiapan perancangan alat dilakukan dengan mempelajari teori turbin angin. Setelah mempelajari teori turbin angin dari berbagai referensi penelitian terlebih dahulu langkah selanjutnya perancangan model transmisi untuk digunakan pada turbin angin. Penempatan transmisi meliputi pembuatan desain dan pemilihan bahan yang akan digunakan untuk digunakan pada turbin angin. Kemudian pembelian dan penyediaan alat-alat yang akan dibutuhkan seperti *bearing*, rantai, *sprocket*, poros, baut, transmisi bertingkat, *generator*, sensor rpm, motor *servo*, dll.



Gambar. 2.2 Transmisi Daya dari Poros Turbin ke Poros Generator

Pengujian eksperimental transmisi beringkat sebagai optimalisasi putaran pada *generator*, dilakukan pengujian dengan cara menempatkan transmisi bertingkat diantara gigi penggerak yang terhubung pada poros turbin (N_1) dengan gigi yang digerakan yang terhubung dengan poros *generator* (N_4) menggunakan rantai sehingga dapat meningkatkan putaran rpm pada poros *generator* seperti gambar 2. Sedangkan pengujian transmisi pada turbin angin dilakukan pada tempat terbuka di lingkungan kampus Politeknik Negeri Jakarta dengan kecepatan angin rata-rata 1.7 m/s. Bahan yang digunakan untuk alat eksperimental adalah *sprocket* sepeda, rantai, transmisi bertingkat, *bearing*, *generator*, dll. Proses pembuatan alat adalah sebagai berikut :

Pemotongan dudukan poros dan bering sesuai disain rangkaian. Pemasangan *sprocket* gigi 32 pada poros turbin. Pembuatan dudukan transmisi, *shifter*, dan *generator*. Pemasangan rantai pada *sprocket* gigi 32 yang tersambung pada transmisi *generator*. Setelah di uji alat eksperimental transmisi bertingkat sebagai cara untuk meningkatkan putaran pada poros *generator* kemudian yang dilakukan adalah analisis eksperimental turbin angin menggunakan transmisi bertingkat yang meliputi pengambilan data putaran, tegangan dan daya listrik.

Adapun alat ukur yang digunakan dalam pengambilan data adalah *tachometer* untuk melihat hasil putaran poros turbin dan poros *generator*, *voltmeter* digunakan untuk mengetahui tegangan yang dihasilkan, *anemometer* untuk mengukur kecepatan angin. Pengambilan data ini dilakukan di lingkungan sekitar kampus Politeknik Negeri Jakarta. Proses pengambilan data eksperimental dari turbin angin menggunakan transmisi bertingkat adalah mempersiapkan alat eksperimental mempersiapkan *form* pengambilan data yang berisi tabel. Memastikan semua alat ukur bekerja dengan baik tidak lupa untuk mengkalibrasi alat ukur tersebut sehingga didapatkan data yang akurat. Mempersiapkan alat eksperimental, menyambungkan kabel *polaritas voltmeter* pada *generator* mempersiapkan *tachometer* dan *anemometer*. Pengambilan data dilakukan pada waktu siang hari.

Selanjutnya membuat grafik berdasarkan data yang ada untuk mempermudah kegiatan analisis tersebut. Menghitung daya angin (persamaan 3.1) dan daya listrik (3.2) sesuai referensi [3] :

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots (3.1)$$

di mana:

P_{in} = Daya angin [Watt]

ρ = Kerapatan angin [kg/m^3]

A = Luas sapuan *blade* rotor turbin [m^2]

v = Kelajuan angin [m/s]

Besarnya daya listrik [3]:

$$P = V.I \dots\dots\dots(3.2)$$

di mana:

P = Daya listrik [Watt]

V = Tegangan [Volt]

I = Arus [Ampere]

untuk mempermudah analisis transmisi pada turbin angin horizontal. berikut rumus-rumus yang digunakan Rasio Kecepatan [4]:

$$V.R. = \frac{N_1}{N_2} = \frac{T_1}{T_2} \dots\dots(3.3)$$

di mana:

N_1 = kecepatan putaran *sprocket* gigi 32 [rpm]

N_2 = kecepatan putaran *sprocket* gigi 26 [rpm]

T_1 = Jumlah gigi pada *sprocket* kecil

T_2 = Jumlah gigi pada *sprocket* besar

Kecepatan linier pada transmisi bertingkat:

Karena *sprocket* gigi 16 dan *sprocket* gigi 26 terhubung pada satu kesatuan. Maka putaran (rpm) dianggap sama [4] jadi :

$$v_1 = v_2$$

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2$$

$$\frac{2\pi n_1}{60} \cdot R_1 = \frac{2\pi n_2}{60} \cdot R_2$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

Maka:

$$n_2 = n_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \dots\dots\dots(3.4)$$

$$n_2 = n_1 \left(\frac{65}{74} \right)$$

$$n_2 = 0,8 n_1$$

Maka dapat diketahui rpm pada *sprocket* gigi 26 0,8x lebih besar daripada *sprocket* gigi 16.

di mana:

v_1 = kecepatan linier *sprocket* gigi 32 [m/s]

v_2 = kecepatan linier *sprocket* gigi 26 [m/s]

ω_1 = kecepatan sudut *sprocket* gigi 32 [rad/s]

ω_2 = kecepatan sudut *sprocket* gigi 26 [rad/s]

R_1 = Radius *sprocket* gigi 32 [m]

R_2 = Radius *sprocket* gigi 26 [m]

n_1 = putaran per menit *sprocket* gigi 32 [rpm]

n_2 = putaran per menit *sprocket* gigi 26 [rpm]

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Uji Pengaruh Penambahan Transmisi Pada Gigi 26

Berdasarkan Tabel 3.1 pengambilan data dengan menggunakan gigi transmisi bertingkat dengan gigi 26. Yang digunakan untuk memutar *generator*. Pada transmisi gigi 26 memiliki putaran minimal 132 rpm dan putaran maksimal 1492 rpm pada poros *generator*.

Tabel. 3.1 Data pada gigi 26

Data Gear 26									
Waktu	V angin (m/s)	RPM Turbin	RPM Generator	Volt (V)	Arus (A)	Daya Listrik (Watt)	Daya Angin (Watt)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
11.00 – 13.00	0.8	25	132	7	0.7	4.9	0.565	0.215	8.669
	0.9	26	135	7	0.7	4.9	0.805	0.299	6.089
	1	46	244	9	0.9	8.1	1.104	0.227	7.338
	1.1	47	245	9	0.9	8.1	1.469	0.301	5.513
	1.2	47	247	9	0.9	8.1	1.908	0.387	4.246
	1.3	70	370	10	1	10	2.425	0.329	4.123
	1.4	75	396	11	1.1	12.1	3.029	0.384	3.995
	1.4	83	437	13	1.3	16.9	3.029	0.348	5.579
	1.4	86	450	14	1.4	19.6	3.029	0.338	6.471
	1.5	90	473	15	1.5	22.5	3.726	0.395	6.039
	1.5	90	473	15	1.5	22.5	3.726	0.395	6.039
	1.5	91	477	15	1.5	22.5	3.726	0.392	6.039
	1.6	100	526	16	1.6	25.6	4.522	0.431	5.662
	1.7	128	670	17	1.7	28.9	5.423	0.406	5.329
	1.7	133	700	18	1.8	32.4	5.423	0.389	5.974
	1.7	134	702	18	1.8	32.4	5.423	0.460	5.033
	1.8	134	702	18	1.8	32.4	6.438	0.541	4.279
	1.9	175	920	19	1.9	36.1	7.572	0.413	4.768
	1.9	176	923	19	1.9	36.1	7.572	0.411	4.768
	1.9	193	1015	20	2	40	7.572	0.436	4.529
	2	194	1018	20	2	40	8.831	0.435	4.529
	2	194	1018	20	2	40	8.831	0.435	4.529
	2	194	1019	20	2	40	8.831	0.503	3.913
	2.1	194	1020	20	2	40	10.223	0.503	3.913
	2.2	223	1170	21	2.1	44.1	11.754	0.504	3.752
	2.2	229	1201	22	2.2	48.4	11.754	0.491	4.118
	2.2	235	1236	23	2.3	52.9	11.754	0.545	3.939
	2.3	236	1241	23	2.3	52.9	13.431	0.543	3.939
2.3	283	1487	26	2.6	67.6	13.431	0.453	5.033	
2.5	284	1492	26	2.6	67.6	17.249	0.580	3.919	
Rata - rata	1.700	140.565	737.967	16.667	1.667	30.587	6.486	0.416	5.069

b. Hasil Uji Pengaruh Penambahan Transmisi Pada Gigi 16

Berdasarkan Tabel 3.2 pengambilan data dengan menggunakan gigi transmisi bertingkat dengan gigi 16. Yang digunakan untuk memutar *generator*. Pada transmisi gigi 16 memiliki putaran minimal 443 rpm dan putaran maksimal 1936 rpm pada poros *generator*.

Tabel. 3.2 Data pada gigi 16

Data Gear 16									
Waktu	V angin (m/s)	RPM Turbin	RPM Generator	Volt (V)	Arus (A)	Daya Listrik (Watt)	Daya Angin (Watt)	Torsi (Nm)	Efisiensi (%)
11.00 – 13.00	1.3	55	443	13	1.3	16.9	2.425	0.42	6.968
	1.3	57	455	14	1.4	19.6	3.029	0.41	8.082
	1.4	56	450	14	1.4	19.6	2.425	0.51	6.471
	1.4	59	473	15	1.5	22.5	4.522	0.49	7.428
	1.5	59	470	15	1.5	22.5	6.438	0.61	6.039
	1.5	66	526	16	1.6	25.6	6.438	0.54	6.871
	1.6	100	800	19	1.9	36.1	6.438	0.43	7.984
	1.7	115	920	19	1.9	36.1	5.423	0.45	6.656
	1.8	115	920	19	1.9	36.1	7.572	0.53	5.607
	1.8	127	1018	20	2	40	6.438	0.48	6.213
	1.8	145	1160	21	2.1	44.1	3.726	0.42	6.850
	1.8	146	1170	21	2.1	44.1	8.831	0.42	6.850
	1.8	154	1233	23	2.3	52.9	3.726	0.40	8.217
	1.8	155	1236	23	2.3	52.9	3.029	0.40	8.217
	1.8	168	1340	24	2.4	57.6	10.223	0.37	8.947
	1.9	161	1287	24	2.4	57.6	6.438	0.45	7.607
	2	175	1400	25	2.5	62.5	6.438	0.48	7.077
	2	176	1405	25	2.5	62.5	8.831	0.48	7.077
	2.1	176	1409	25	2.5	62.5	13.431	0.55	6.114
	2.1	177	1414	25	2.5	62.5	19.402	0.55	6.114
	2.1	197	1575	30	3	90	6.438	0.50	8.803
	2.2	200	1600	31	3.1	96.1	11.754	0.56	8.176
	2.3	209	1670	32	3.2	102.4	7.572	0.61	7.624
	2.4	225	1800	35	3.5	122.5	15.260	0.65	8.027
	2.6	229	1834	37	3.7	136.9	39.671	0.81	7.056
	2.6	232	1856	39	3.9	152.1	10.223	0.80	7.839
	2.6	238	1900	40	4	160	7.572	0.78	8.246
	2.6	240	1918	43	4.3	184.9	4.522	0.77	9.530
2.6	241	1929	46	4.6	211.6	19.402	0.77	10.906	
2.9	242	1936	49	4.9	240.1	26.923	1.06	8.918	
Rata - rata	1.3	156.446	1251.567	26.067	2.607	77.693	9.485	0.557	7.550

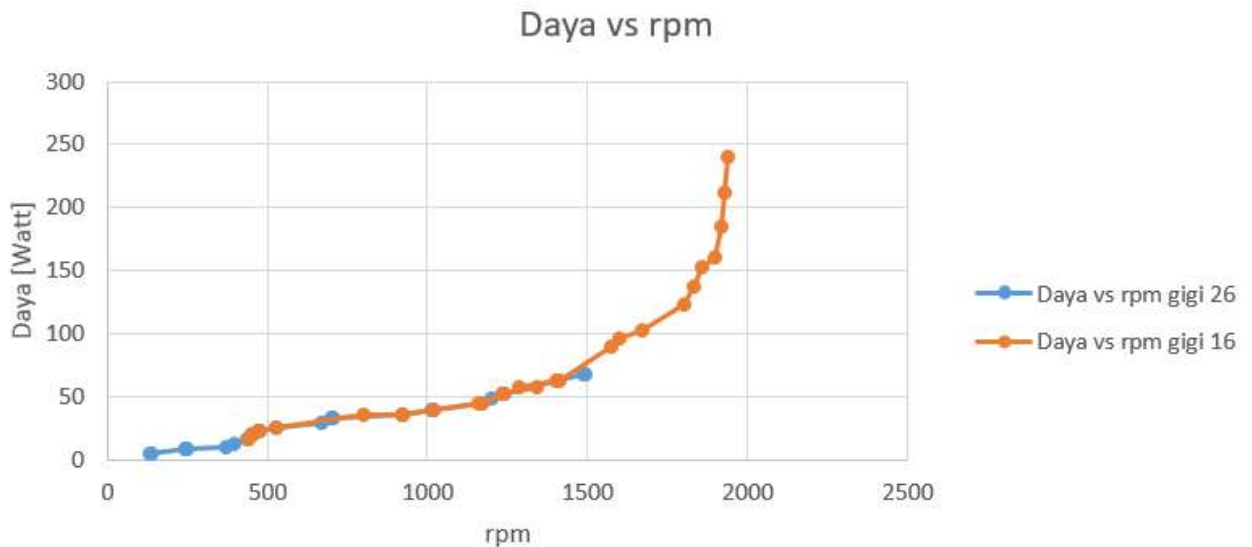
c. Hasil Uji Kecepatan Angin Terhadap Tegangan



Gambar. 3.1 Grafik Kecepatan Angin vs Tegangan

Pada Gambar 3.1 terlihat bahwa tegangan terbesar yang dihasilkan oleh Turbin angin pada gigi 16 (perbandingan rasio 32:16) yaitu 49 Volt dengan kecepatan angin 2,9m/s. Sedangkan pada saat gigi 26 menghasilkan tegangan yaitu sebesar 26 Volt dengan kecepatan angin 2,5m/s.

d. Hasil Uji Daya Terhadap Putaran



Gambar. 3.2 Grafik Daya vs rpm

Pada Gambar 3.2 terlihat bahwa daya terbesar yang dihasilkan oleh Turbin angin pada gigi 16 (perbandingan rasio 32:26) menghasilkan daya yaitu sebesar 240,1 Watt dengan 1936 rpm. Sedangkan pada saat gigi 26 yaitu 67,6 Watt dengan 1492 rpm

IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan pengujian turbin angin menggunakan transmisi bertingkat mampu meningkatkan putaran generator. Saat rantai berputar pada nomor gigi 26 didapat putaran minimal 152 rpm. Pada saat rantainya berpindah ke nomor gigi 16 menghasilkan putaran generator maksimal 1900 rpm.
2. Dengan penambahan transmisi bertingkat didapat kecepatan angin terendah sebesar 0,8 m/s dengan masih menghasilkan putaran minimal 152 rpm.
3. Dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa penerapan transmisi bertingkat dapat direkomendasikan sebagai alat untuk meningkatkan putaran poros generator.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Artikel: “Pemanfaatan Energi Angin di Indonesia” Tersedia: <http://www.alpensteel.com/article/116-103-energi-angin--wind-turbine--wind-mill/2286--pemanfaatan-energi-angin-di-indonesia> [2 Mei 2018]
- [2] Agus Sifa, Casiman S, Habib Rizqon H “Pengujian Kincir Angin Horizontal Type di Kawasan Tambak Sebagai Energi Listrik Alternative Untuk Penerangan” Prodi Teknik Mesin Politeknik Indramyu, 2014.
- [3] Agus Suseno, Herdian Nurcahyo, Mochammad Arif N, Rahmat Kholid “Rancang Bangun Turbin Angin Sederhana Jenis Horizontal Axis Wind Turbine Dengan Kayu Pinus Sebagai Bahan Sudu” Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta 2015.
- [4] Artikel: “Hubungan roda – roda gerak melingkar” Tersedia: www.fisikabc.com/2016/06/hubungan-roda-roda-gerak-melingkar.html [30 Mei 2018]

PERANCANGAN FASILITAS JEMBATAN UNTUK MEMINDAHKAN MAIN DRIVE MOTOR CEMENT MILL

Moh Alex Hardiyanto Prasetyo¹; Sonki Prasetya¹ Essa Abubakar Wahid²

1. Teknik Mesin, Konsentrasi Rekayasa Industri, Politeknik Negeri Jakarta
2. Mechanical Engineer, PT. Holcim Indonesia Tuban Plant

mohalexhardiyantop.holcim@gmail.com

Abstrak

Cement mill adalah peralatan yang berfungsi untuk menggiling bahan baku semen. Jenis cement mill yang digunakan PT Holcim Indonesia pabrik Tuban adalah Vertikal Roller mill produk dari Loesche. Material yang digiling di dalamnya adalah clinker, gipsum dan bahan tambahan (limestone filler, fly ash dan pozzolan). Material tersebut digiling diantara master roller dan rotary table hingga mencapai kehalusan yang telah ditentukan. Rotary table sendiri digerakkan oleh sebuah motor electric dengan power 5200 kW. Untuk menjaga kinerja dari cement mill, harus dilakukan perawatan berkala sehingga equipment selalu dalam kondisi prima. Salah satu upayanya adalah dengan melakukan overhaul. Pada overhaul cement mill PT Holcim Indonesia pabrik Tuban 2018 ini salah satu yang harus dilakukan yaitu mengganti main drive motor cement mill 561- MD1. Penggantian main drive dilakukan karena adanya indikasi cacat pada bearing NDE (Non Drive End) yang terdeteksi dengan nilai vibrasi senilai 19,5 m/s². Kendala utama dalam proses penggantian main drive ini yaitu sulitnya pemindahan dikarenakan beratnya sekitar 25 Ton, terbatasnya kondisi lapangan serta terbatasnya fasilitas pengangkatan. Oleh sebab itu, diperlukan alat bantu yang dapat memindahkan main drive cement mill 561- MD1 dari posisi awal hingga keluar dari bangunan, untuk kemudian akan di pindahkan dengan mobile crane. Sebuah desain jembatan yang kokoh untuk memfasilitasi keperluan tersebut ditunjang sistem yang knock down dan efektif merupakan tujuan dari studi ini.

Struktur dari fasilitas jembatan ini menggunakan H-beam sebagai kerangkanya. Sementara untuk mengidentifikasi karakteristik fisik, beban tumpuan dan material yang digunakan yaitu dengan menggunakan software solidworks sehingga dapat diperoleh tegangan dan deformasi serta batasan minimal dimensi yang masih dapat digunakan pada struktur penyangga jembatan dengan material mild steel. Konstruksi fasilitas jembatan ini dibuat agar pemindahan main drive motor cement mill dapat dilakukan dengan cepat, dan aman.

Kata kunci: main drive motor, Jembatan, H-beam, Solidworks

Abstract

Cement mill is an equipment that serves to grind cement raw materials. The type of cement mill used by PT Holcim Indonesia Tuban plant is Vertical Roller mill product from Loesche. Milled material are (IS) clinker, gypsum and additive (limestone filler, fly ash and pozzolan). The material are (IS) milled between the master roller and rotary table until it reaches a predetermined smoothness. (THE) Rotary table itself is driven by an electric motor with 5200 kW power. To maintain the performance of the cement mill, maintenance must be done periodically so equipment is always in top condition. One of his efforts is to overhaul. In overhaul cement mill PT Holcim Indonesia Tuban plant 2018 is one that must be done is to replace the main drive motor cement mill 561- MD1. Main drive replacement is performed due to an indication of defects in NDE (Non Drive End) bearing detected with a vibration value of 19.5 m / s². The main constraint in the process of replacing the main drive is the difficulty of moving due to the weight of about 25 tons, limited field conditions and limited lifting facilities. Therefore, we need a tool that can move the main drive cement mill 561- MD1 from the initial position to the exit of the building, to then be moved with a mobile crane. A solid bridge design to facilitate these needs is supported by a knock down and effective system is the goal of this study.

The structure of this bridge facility uses H-beam as its structure. Meanwhile, to identify the physical characteristics, the load and material used solidworks software so that voltage and deformation can be obtained as well as the minimum dimensions that can still be used on the bridge buffer structure with mild steel material. Construction of this bridge facility moving the main drive motor cement mill can be done quickly, and safely.

Keywords: main drive motor, bridge, H-beam, Solidworks

1. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Cement Mill merupakan tempat penggilingan terakhir semen. Material yang digiling di dalam Cement Mill adalah clinker, gypsum dan additive (limestone filler, pozzolan dan Flyash). Proporsi dari ketiga bahan tersebut harus sesuai dengan standar dan jenis semen yang telah ditentukan[1]. Ada 2 jenis mill yang

digunakan pada pabrik semen, yaitu *Ball Mill* dan *Vertical Roller Mill. Cement Mill* di PT Holcim Indonesia Tbk, Tuban *Plant* menggunakan tipe *Vertical Rol*

Cement Mill di PT Holcim Indonesia Tbk, Tuban *Plant* merupakan produk dari *Loesche*. Tipe dari *mill* tersebut adalah LM56.3+3. LM 56.3+3 berarti *Loesche mill* tersebut memiliki diameter *table mill* sebesar 5,6 m, 3 *master roller* dan 3 *service/support roller*[2]. Prinsip kerja *vertical roller mill* adalah klinker digiling oleh 3 (tiga) buah *roller* diatas *rotating table* yang digerakkan oleh *main drive motor*. *Roller* ini menekan klinker dengan tekanan *hydraulic system* 60 – 80 bar. Material yang telah sesuai kehalusannya akan keluar dari *mill* bersamaan dengan aliran udara melalui *outlet fitting* pada *classifier*.” Gambar 1” merupakan *Vertical Roller Mill* produk dari *Loesche*.



Gambar 1. *Loesche Vertical roller mill*

Overhaul merupakan kegiatan rutin tahunan yang dilakukan PT Holcim Indonesia untuk melakukan perawatan pada mesin mesin produksi agar tetap dalam kondisi yang prima. Pada *overhaul* yang akan dilakukan pada tahun 2018 ini, salah satu hal yang harus dilakukan adalah mengganti *main drive cement mill 561- MD1* beratnya sekitar 25 ton dengan yang baru. Penggantian ini dikarenakan adanya indikasi cacat pada bearing NDE (Non-Drive End) senilai 19.5 m/s^2 dan juga karena *life time main drive* sudah 5 tahun. karena jadwal untuk *overhaul* yang hanya 7 hari[3]. Sehingga tidak memungkinkan untuk dilakukan re-kondisi, dan perbaikan *main drive motor cement mill*. Namun, dengan kondisi lapangan yang terbatas, baik akses maupun fasilitas pengangkatan (*lifting*), serta harus dilakukan dengan cepat menjadikan proses pemindahan ini sulit dilakukan.

Masalah tersebut sangat mengganggu dalam proses *overhaul* dan akan mengganggu proses produksi jika waktu *overhaul* mundur dari jadwal yang telah direncanakan. Untuk itu perlu adanya penyelesaian dari masalah tersebut yaitu dengan membuat sebuah alat bantu yang dapat memindahkan *main drive cement mill* keluar bangunan, yang nantinya akan di angkat dan dipindahkan ke tempat yang aman dengan *mobile crane*. Sehingga proses pemindahan *main drive motor cement mill* diharapkan menjadi cepat, dan aman.

1.2 Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan penulisan dari karya tulis ini adalah:

1. Merancang suatu alat yang dapat memindahkan *main drive motor cement mill* dengan aman.

2. Perancangan produk mudah untuk diinstallasi dan re-installasi.
3. Untuk mempersingkat proses penggantian main *drive motor cement mill*.

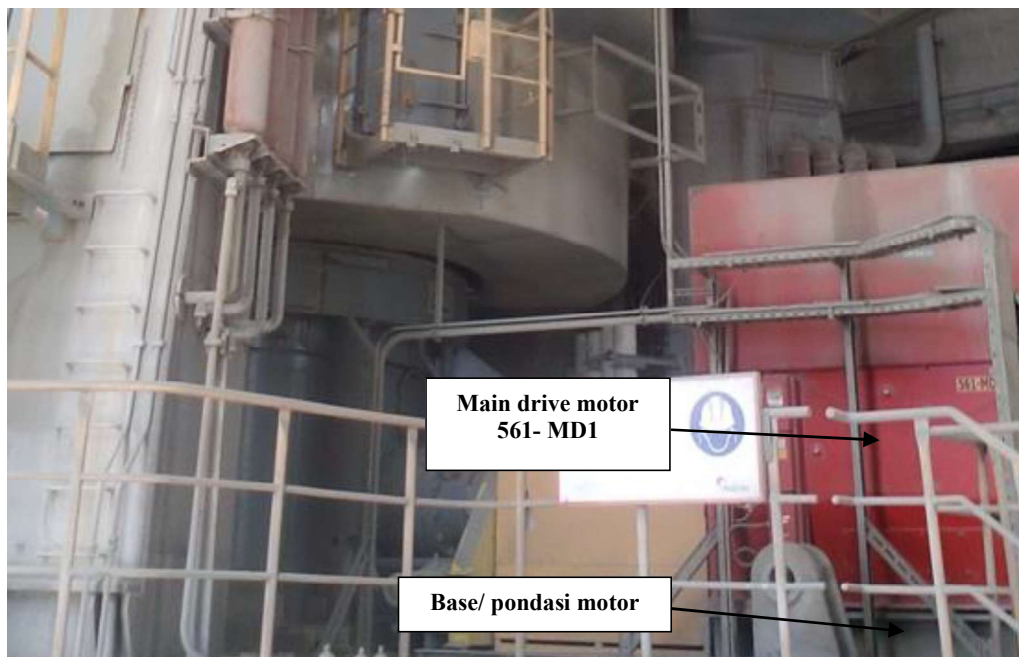
2. METODE PENELITIAN

1. Metode diskusi, yakni melakukan diskusi dengan pihak-pihak terkait mengenai permasalahan yang sedang terjadi. Pihak terkait yaitu *Engineer Maintenance*, karyawan *Electric Finish mill Maintenance Planner*, *Superintendent CBM (Condition Based Monitoring)* dan *Superintendent Workshop*.
2. Metode kepustakaan/ study literatur, mencari dan mempelajari informasi tentang gaya yang bekerja pada alat, kekuatan las lasan, kekuatan pada baut, dan pemilihan material yang didapatkan dari buku, internet, dan jurnal.
3. Metode observasi, yakni melakukan observasi pada alat dan lokasi alat di area *Finish Mill*, berupa pengukuran untuk mendukung dalam perancangan fasilitas jembatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Kebutuhan

Analisa kebutuhan ini diperoleh melalui hasil diskusi dengan pihak *Electric, Maintenance*, dan *Workshop department*, dan observasi langsung dilapangan. Perancangan ini didasari karena sulitnya melakukan pemindahan *main dive motor cement mill 561- MD1* yang akan dilakukan pada saat *overhaul* dikarenakan akses dan lokasi yang terbatas, selain itu pemindahan *main drive motor* ini diharapkan dapat dilakukan dengan cepat (kurang dari 4 jam), karena banyak kegiatan dalam waktu bersamaan di area yang sama. Pemindahan *main drive motor* ini juga berpotensi bahaya, karena pekerja berpotensi tertimpa oleh motor. Berdasarkan spesifikasi *main drive motor cement mill* dari buku *induction motor H-compact PLUS* memiliki berat 23,23 [ton][4].



Gambar 2. *Main drive motor 561-MD1*

“Gambar 2” merupakan gambar *main drive motor 561-MD1*. Berdasarkan observasi yang dilakukan di area cement mill terdapat sebuah dudukan motor yang terbuat dari material H-beam 300 x 300 mengelilingi bagian bawahnya. Massa dari dudukan ini ± 1000 kg. sehingga massa total yang akan dipindahkan yaitu 24,23 Ton. Oleh karena itu hasil dari sebuah rancangan ini harus di susuaikan dengan kriteria konsep rancangan yang telah disusun berdasarkan kebutuhan konsumen sebagai berikut:

1. Desain dari rancangan harus Mencukupi ruang yang tersedia pada objek pemasangan.
2. Dapat menahan beban dari main drive motor.
3. Mudah dalam instalasi dan re-instalasi.

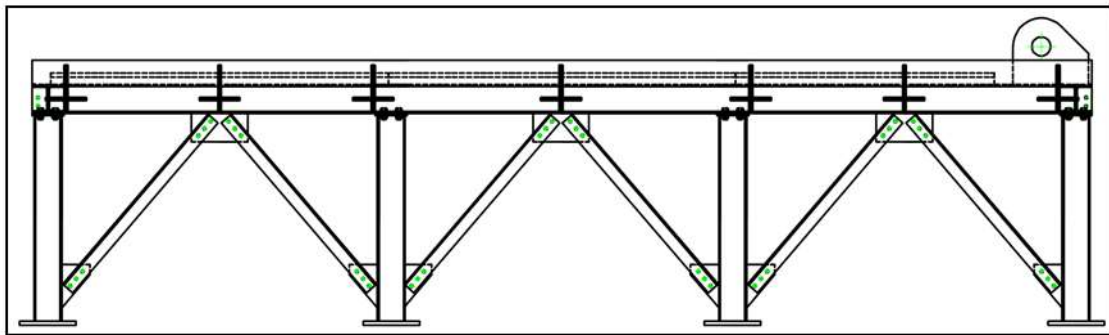
4. Komponen alat mudah didapat dan di fabrikasi.
5. Mudah dalam proses perawatan.
6. Harga terjangkau.
7. Dapat dipindahkan dengan cepat dan mudah.

3.2 Konsep desain

Berdasarkan data-data hasil observasi dan kriteria pemilihan desain, maka dibuatlah dua konsep desain fasilitas jembatan yang akan dibuat, yakni:

1. Konsep pertama

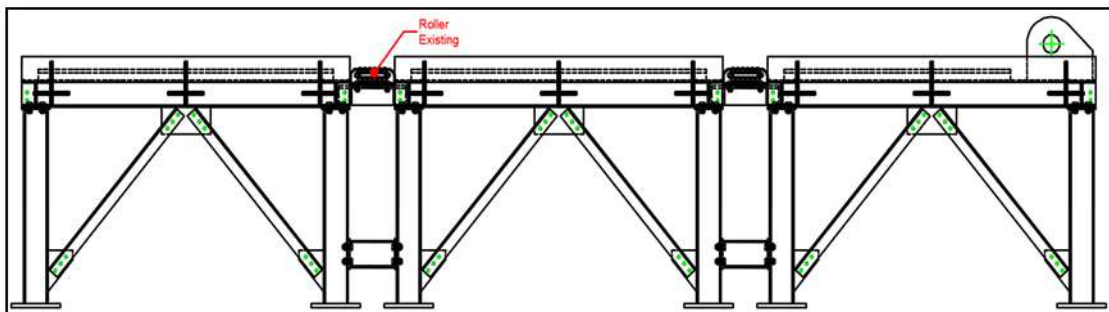
Gambar 3 merupakan desain pertama dengan menggunakan struktur H-beam sepanjang 6 meter sehingga material yang akan di gunakan menjadi lebih sedikit dan proses pengerjaan menjadi lebih cepat. Pada konsep ini, struktur dari jembatan terbuat dari material H-Beam sepanjang 6 meter, dengan kaki penyangga sebanyak 8 buah, dan penguat berupa *angle steel*. Kelemahan dari konsep ini yaitu jika ingin memindahkannya harus dengan cara membongkar keseluruhan, atau dengan menggunakan *mobile crane*, karena tidak memungkinkan dipindahkan menggunakan *fork lift* sehingga proses pemindahan menjadi lebih lama dan membutuhkan biaya yang lebih besar untuk penyewaan *mobile crane* ataupun tenaga pekerja.



Gambar 3. Konsep desain fasilitas jembatan pertama

2. Konsep kedua

Gambar 4 adalah desain kedua dengan menggunakan struktur H-beam yang dibuat menjadi 3 segmen. Setiap segmen akan dihubungkan dengan *support roller* dan *H-beam* pada bagian bawah kakinya sehingga mudah pada saat dibongkar dan dipasang hanya dengan melepaskan *support roller* dan *H-beam* saja untuk kemudian dipindahkan dengan menggunakan *fork lift*. Pada konsep ini, struktur dari jembatan terbuat dari material H-Beam sepanjang 2 meter sebanyak 3 pasang, kaki penyangga yang digunakan sebanyak 12 buah, dan penguat berupa *angle steel*. *Support roller* ini merupakan produk dari *Borkey* dengan kapasitas 400 kN. Terdapat 14 buah roller silinder yang terinstall pada *Support roller*. *Support roller* akan dipasang empat buah sebagai bantalan untuk mempermudah pemindahan *main drive motor*.



Gambar 4. Konsep desain fasilitas jembatan kedua

3.3 Rancangan Alat

Berdasarkan hasil kebutuhan konsumen diatas, maka dipilihlah model rancangan kedua dengan 3 segmen utama. Desain kedua dipilih karena mudah untuk dilakukan pemindahan tiap segmen menggunakan *fork lift* dengan melepas beberapa baut saja pada bagian penghubungnya. Setiap segmen akan dihubungkan oleh 2 buah H-beam dan 2 buah *support roller*, *Support roller* akan di install sejajar dengan *rail base* sebagai bantalan untuk mempermudah pemindahan main drive motor. “Gambar 5” adalah konstruksi dari perancangan jembatan untuk fasilitas pemindahan main drive cement mill.

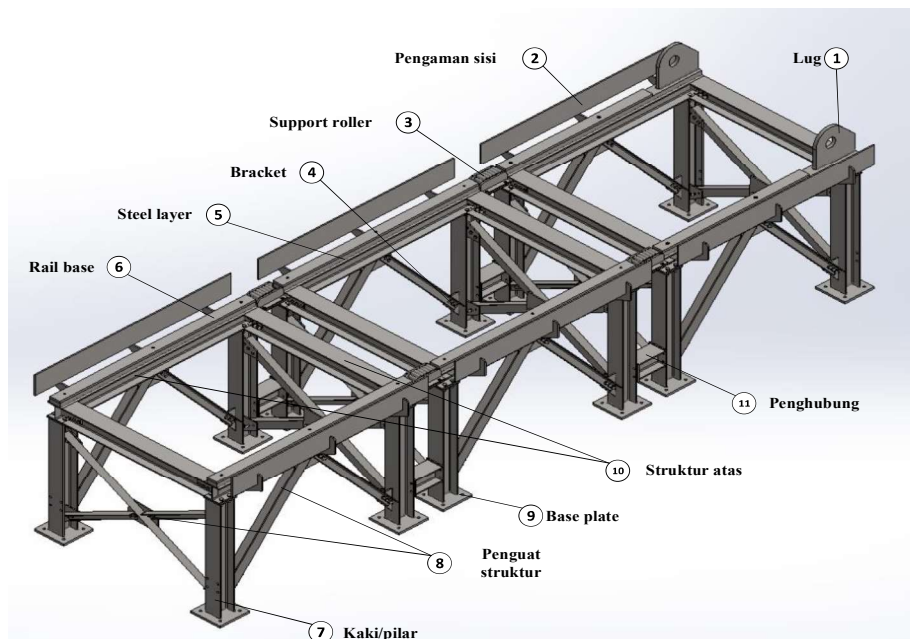
Rail base yang kontak secara langsung dengan kedudukan motor akan dibuat dengan menggunakan *Polytetrafluoroethylene (PTFE)/ Teflon sheet*. Teflon dipilih karena memiliki koefisien gesekan dengan *steel* sebesar 0,04.

Hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan adalah sebagai berikut:

Berat beban	= 25.000 [kg]
Percepatan gravitasi	= 9, 81 [m/s ²]
F	= 25.000 [kg] x 9, 81 [m/s ²] = 245.250 [N]
Panjang motor	= 3500 [mm]
Lebar motor	= 1800 [mm]
Panjang jembatan	= 6000 [mm]
Lebar jembatan	= 2100 [mm]
Tinggi jembatan	= 1300 [mm]
Standard <i>H-beam</i>	= JIS G3101 SS400.
Standard <i>Angle Steel</i>	= JIS 3192
Tipe baut	=Baut <i>grade 4.8 material carbon alloy steel, tensile strength 400 [N/mm²]</i>

(DIN EN ISO 4014).

Kawat las/ *electrode* = Elektroda R718



Gambar 5. Konstruksi fasilitas jembatan *motor cement mill*

3.4 Perhitungan Teknik

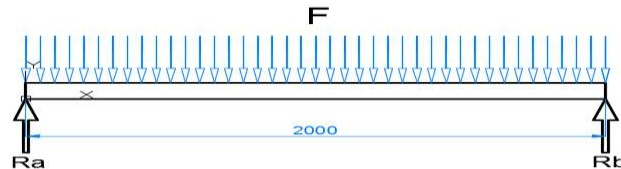
Main drive motor cement mill 561- MD1 akan dikeluarkan dari bangunan dengan alat bantu sebuah jembatan. Untuk perancangan alat ini perlu di perhatikan pemilihan material dari struktur agar konstruksi jembatan kuat menahan beban yang diterima.

3.3.1 analisa beban pada struktur

Main drive motor akan berkontak langsung dengan dua buah struktur horizontal dan beberapa buah pilar penyangga. Sehingga perlu dihitung dimensi material terhadap gaya-gaya yang bekerja pada setiap beam, yaitu *bending*/ bengkok dan *buckling*.

1. Tegangan *Bending*

Tegangan *bending* dalam konstruksi terjadi karena *beam* menumpu beban dari *main drive motor*. Perhitungan momen *bending* digunakan untuk menentukan ukuran *beam* yang diperlukan. "Gambar 6" merupakan *free body diagram* dari momen *bending* yang bekerja pada alat.



Gambar 6. Momen bending

Perhitungan Tegangan *bending* menggunakan rumus berikut.

- a. Menghitung nilai momen *bending* untuk beban merata dan disupport di kedua ujungnya[5]:

$$M_b = \frac{F \times L}{8} \quad \text{[Persamaan 1]}$$

Keterangan:

- Mb = Momen *bending* [Nm]
- F = *Bending Force*/ gaya berat [N]
- L = Panjang lengan [m]

$$M_b = \frac{245.250 \text{ N} \cdot 2 \text{ m}}{8}$$

$$M_b = 61.312,5 \text{ Nm}$$

- b. Menghitung nilai momen *bending* yang diijinkan[5].

$$\sigma_{b \text{ allow}} = \frac{\sigma_{b \text{ max}}}{v} \quad \text{[Persamaan 2]}$$

Keterangan:

- $\sigma_{b, \text{allow}}$ = Tegangan *bending* yang diijinkan [N/mm^2]
- $\sigma_{b \text{ max}}$ = Tegangan *bending* maksimum [N/mm^2]
- v = *safety factor*

$$\sigma_{b \text{ allow}} = \frac{330 \text{ N/mm}^2}{2}$$

$$\sigma_{b \text{ allow}} = 165 \text{ N/mm}^2$$

- c. Rumus untuk mencari *section modulus*

$$\sigma_{b \text{ allow}} = \frac{M_b}{W_b} \quad \text{[Persamaan 3]}$$

Keterangan:

- $\sigma_{b \text{ allow}}$ = Tegangan *bending* yang diijinkan [N/mm^2]
- Wb = *Section modulus*/ Momen tahanan *bending* [mm^3]

$$165 \frac{N}{mm^2} = \frac{61.312,5 \text{ Nm}}{W_b}$$

$$W_b = \frac{61.312,500 \text{ Nmm}}{165 \frac{N}{mm^2}}$$

$$W_b = 371.590,9091 \text{ mm}^3$$

Gaya berat dari *main drive motor* ditopang oleh 2 buah *beam* maka *section modulus* dibagi dengan 2.

$$Wb = \frac{371.590.9091 \text{ mm}^3}{2}$$

$$Wb = 185.795,4545 \text{ mm}^3$$

$$Wb = 185,7954 \text{ cm}^3$$

Selanjutnya, dari nilai Wb / momen tahanan *bending*/ *section modulus* tersebut didapatkan material dengan *section modulus* > Wb , yaitu *H-beam* dengan ukuran 150 x 150 [mm].

2. Tegangan Buckling

Tegangan yang terjadi pada tiang/ pilar penyangga adalah tegangan *buckling*. Tegangan buckling terjadi karena adanya gaya berat dari *main drive motor* yang di tumpu oleh sejumlah tiang penyangga.

Untuk mencari nilai dari tegangan *buckling* yaitu [5].

$$F_{bu,allow} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{bu}^2 \cdot v} \quad \text{[Persamaan4]}$$

Keterangan:

$$l = \text{length [cm]}$$

$$l_{bu} = \text{free buckling length [cm]}$$

$$I = \text{Moment of Inertia [cm}^4\text{]}$$

$$v = \text{safety factor}$$

$$E = \text{modulus of elasticity [kN/mm}^2\text{]}$$

$$F_{bu,allow} = \text{allowable buckling force [kN]}$$

Nilai dari *free buckling length* dibedakan berdasarkan penahan beam, l_{bu} dengan *load case IV* dapat dihitung dengan persamaan [5].

$$l_{bu} = 0,5 \cdot l \quad \text{[Pesamaan5]}$$

Nilai dari *moment of inertia* dapat dicari di *table book* atau standard material yang telah didapatkan dari perhitungan tegangan bending.

$$F_{bu,allow} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \text{ kN/mm}^2 \cdot 1640 \text{ cm}^4}{(55 \text{ cm})^2 \cdot 4}$$

$$F_{bu,allow} = \frac{\pi^2 \cdot 20000 \text{ kN/cm}^2 \cdot 1640 \text{ cm}^4}{(65 \text{ cm})^2 \cdot 4}$$

$$F_{bu,allow} = \frac{323.723.024 \text{ kN.cm}^2}{16900 \text{ cm}^2}$$

$$F_{bu,allow} = 19.155,2085 \text{ kN}$$

Dapat disimpulkan bahwa nilai *buckling force* yang diijinkan lebih besar dari gaya yang diberikan oleh beban, sehingga dengan dimensi pilar penyangga sama dengan dimensi material struktur penyangga aman untuk digunakan.

3. Perhitungan dimensi baut berdasarkan tegangan geser [6].

$$P_s = \frac{\pi}{4} \times d_c^2 \times \tau \times n \quad \text{[Persamaan6]}$$

Keterangan:

P_s = Beban tegangan geser [N].

d_c = Diameter minor baut [mm].

τ = Tegangan geser material baut [N/mm²].

n = jumlah baut.

$$245.250 \text{ N} = \frac{\pi}{4} \times d_c^2 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 6$$

$$245.250 \text{ N} = 1884,95 \text{ N/mm}^2 \times d_c^2$$

$$245.250 \text{ N} = 1884,95 \text{ N/mm}^2 \times d_c^2$$

$$d_c^2 = \frac{245.250 \text{ N}}{1884,95 \text{ N/mm}^2}$$

$$d_c = 11,4 \text{ mm}$$

4. Mencari dimensi las-lasan *fillet* memanjang berdasarkan tegangan geser maksimum

$$\tau_g = \frac{m}{m+1} \times \sigma t \quad \text{[Persamaan7]}$$

$$m = \frac{1}{\mu} \quad \text{[Persamaan8]}$$

$$\tau_g = \frac{F}{A} \quad \text{[Persamaan9]}$$

$$A = t \times l \quad \text{[Persamaan10]}$$

Keterangan:

τ_g = Tegangan geser electrode [N/mm²].

σt = Tegangan Tarik electrode [N/mm²].

F = Gaya yang bekerja pada lasan [N]

A = tebal leher lasan (t) x panjang lasan (l) [mm²]

μ = *poisson ratio* (0,31 N/A) sesuai dengan jenis electrode yang digunakan.

$$\sigma t \text{ kawat Electroda 718} = 50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} = 490.332 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\text{Poisson ratio } (\mu) = 0.31 \frac{\text{N}}{\text{A}}$$

$$F = 122625 \text{ N}$$

$$\tau_g = \frac{m}{m+1} \times \sigma t$$

$$m = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0.31} = 3.225$$

$$\tau_g = \frac{m}{m+1} \times \sigma t = \frac{3.225}{3.225+1} \times 490.332 = 374.277 \frac{N}{mm^2}$$

$$\tau_g = \frac{F}{A}$$

$$\tau_g = \frac{F}{(2l) \times t}$$

$$374.277 = \frac{122.625}{(2 \times 225) \times t}$$

$$t = \frac{122625}{450 \times 374.277} = 0.278 \text{ mm}$$

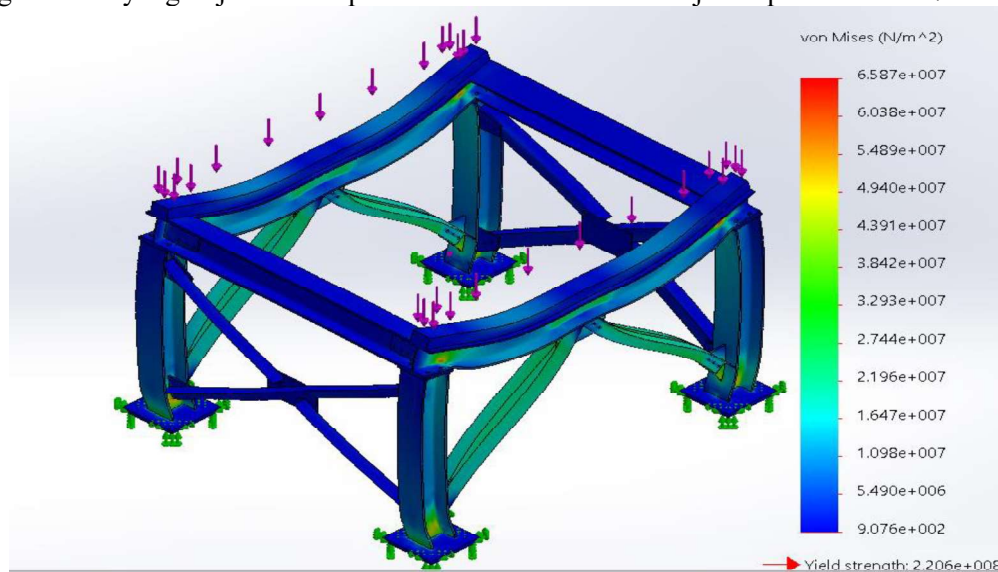
Dapat diketahui bahwa tebal lasan minimal untuk komponen *bracket* dengan menggunakan elektroda R718 harus memiliki ukuran lasan (t) yaitu sebesar 0.278 mm. Standard ketebalan las-lasan minimum untuk plat dengan ketebalan 10 mm adalah 6mm[6].

3.3.2 Hasil Analisa Kekuatan Dengan Perhitungan Simulasi *Software Solidworks*

Hasil yang diperoleh dari analisa statik menggunakan software solidworks pada struktur jembatan dengan diberi beban 122625 N sesuai dengan berat *main drive motor cement mill* adalah sebagai berikut :

- Tegangan lentur

Tegangan lentur yang terjadi akibat pembebanan dari motor ditunjukkan pada Gambar 7.

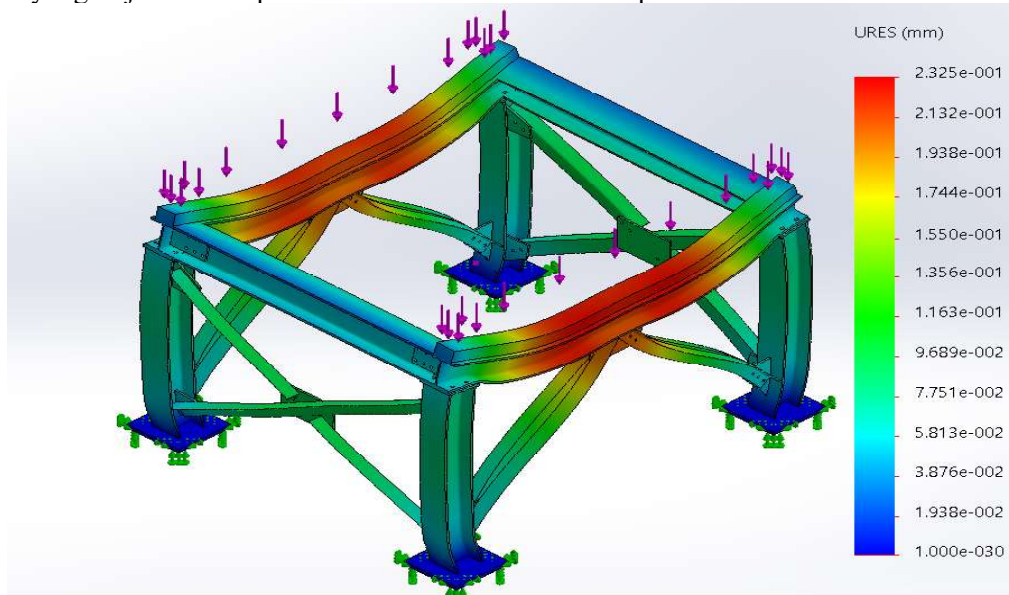


Gambar 7. Tegangan lentur yang terjadi pada struktur jembatan

Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi akibat pembebanan dari motor yaitu untuk tegangan minimum sebesar 907.6 N/m² dan tegangan maksimumnya sebesar 65.780.000 N/m². Maka berdasarkan perbandingan *yield strength* dari material *mild steel* yang digunakan sebesar 220.594.000 N/m², dapat dipastikan struktur tersebut dapat menahan beban yang diberikan.

- Defleksi

Defleksi yang terjadi akibat pembebanan oleh motor terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. defleksi Yang Terjadi Pada struktur jembatan

Dengan adanya beban yang diberikan, maka hasil defleksi minimum sebesar 0 mm dan nilai defleksi maksimum sebesar 0.2325 mm.

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan perhitungan, Alat dapat menerima beban 25.000 kg yaitu dari *main drive motor* dan *base motor* dengan spesifikasi material H-beam 150 mm x 150 mm. dan defleksi maksimum sebesar 0.2325 mm
2. Dengan desain 3 segmen menjadikan pemindahan fasilitas jembatan menjadi mudah dengan menggunakan *fork lift*.
3. Untuk mempermudah penarikan motor di tambahkan material PTFE sheet (teflon) dan support roller pada bagian yang kontak langsung dengan dudukan motor.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada:

1. PT Holcim Indonesia Tbk yang telah menyediakan fasilitas selama pelaksanaan tugas akhir.
2. Bapak Sonki Prasetya, dan bapak Essa Abubakar, pembimbing dari Politeknik negeri Jakarta dan PT holcim Indonesia yang telah membantu dalam penyusunan laporan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Duda, *Cement Data Book* Berlin Germany: Bauverlag GmbH, 1998.
- [2] P. A. P. P. Ltd, "Process Flow Sheet," ed, 2012.
- [3] B. Cahyono, "561- MD1 " Observation report, March 2018.
- [4] SIEMENS, *Induction motor H-compact PLUS, Operating Instructions / Installation Instructions 08/2012*. 2012.
- [5] U. Fischer, M. Heinzler, F. Naher, and H. Paetzold, *Mechanical and Metal Trade Handbook*. Germany: VERLAG EUROPA LEHRMITTEL, 2006.
- [6] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*. New Delhi: Eurasia publishing house (PVT.) LTD, 2005.

RANCANG BANGUN PERKAKAS TEKAN UNTUK MEMBUAT KOIN

Alfin Miftaah Lailatul Qodar¹, Anugerah Wicaksana N.I¹, M. Iqbal Fernanda¹, Rivaldi Arno Saputra¹,
Rosidi², Tri Wijatmaka²

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16424, Telp: +6221 7270036, ext 217, Fax : (021) 7270036, alpinmifta12@gmail.com

²Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Dalam bidang teknik mesin dan industry press tool adalah salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk membentuk dan memotong plat aluminium dengan cara penekanan. Bagian atas dari alat ini didukung oleh plat atas sebagai alat pemegang dan pengarah dari punch, sedangkan bagian bawah terdiri dari plat bawah dan Dies sebagai pendukung dan pengarah benda kerja. Proses kerja alat ini berdasarkan gaya tekan yang diteruskan oleh Punch untuk memotong atau membentuk benda kerja sesuai dengan geometris dan ukuran yang diinginkan. Peralatan ini digunakan untuk membuat produk secara massal dengan produk output yang sama dalam waktu yang relative singkat. Press tool atau perkakas tekan adalah perkakas yang dirancang untuk melakukan sejumlah operasi pemotong atau pembentukan dalam beberapa stasiun kerja. Pada setiap langkah penekanan menghasilkan beberapa jenis pengerjaan yang berupa proses pemotongan atau pembentukan yang berbeda. Adapun keunggulan perkakas tekan yaitu: dapat memproduksi bentuk produk yang rumit, waktu pengerjaan bentuk produk lebih cepat, proses produksi lebih efektif, dan penggunaan operator yang minimal. pembuat perkakas tekan untuk menghasilkan produk koin yang akan di gunakan di bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, sebagai alat tukar peminjaman alat di bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta. Koin ini menggunakan bahan aluminium alloy 1060 dengan tebal 2 mm karena bahan ini tidak getas dan ringan. Koin ini di design dengan lubang dibagaian atas sebagai lubang untuk menggantung koin. Selain itu design koin kami buat dengan menjauhkan unsur sudut lancip sehingga berbentuk seperti oval.

Kata kunci: perkakas tekan, koin, aluminium alloy 1060

Abstract

In the field of mechanical engineering and industry press tool is one of tool's that can be used to form and cut aluminium plate by means of emphasis. The top portion of the tool is supported by the top plate as a holder and steering device of the punch, while the bottom consists of the bottom plate and the Dies as supporting and guiding the workpiece. The work process of this tool is based on the force press forwarded by Punch to cut or shape the workpiece according to the geometric and the desired size. This equipment is used to make products in bulk with the same output product in a relatively short time. A press tool is a tool designed to perform a number of cutting or forming operations within multiple workstations. At each step of emphasis produces several types of work in the form of different cutting or formation processes. The superiority of the press tool that is: can produce complicated product form, faster product form processing, more effective production process, and minimal operator usage. maker of press tools to produce coin products that will be used in the workshop of Mechanical Engineering State Polytechnic of Jakarta, as a tool to exchange tools at the workshop of State Polytechnic Engineering Jakarta. This coin uses 1060 aluminum alloy material with 2 mm thick because this material is not brittle and light. This coin is designed with holes in the top as a hole to hang a coin. In addition, the design of coins we make by splitting the element of taper angle so that it is shaped like an oval

Keywords: Tool Press, coin, aluminium alloy 1060.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Alat tukar untuk peminjaman peralatan dibengkel teknik mesin Politeknik Negeri Jakarta dibutuhkan sebuah alat yang layak dan menjamin untuk dijadikan bukti untuk peminjaman peralatan bengkel berupa koin. Koin yang digunakan berbahan material aluminium alloy 1060 dengan tebal 2 mm karena bahan tersebut tidak getas, ringan serta mudah dibentuk dan tidak berkarat. Bentuk koin yang dipilih seperti oval, hal ini agar mudah digunakan dan menghindari sisi tajam serta tidak mudah ditiru.

Pembuatan koin dibutuhkan sebab sebuah alat bantu untuk membuat produk yang menghasilkan bentuk dan ukuran yang sama dan dalam jumlah yang banyak, maka diperlukan alat bantu atau cetakan yang biasa dikenal dengan sebutan perkakas tekan (*press tool*). Dalam bidang teknik mesin dan industri *press tool* adalah salah satu peralatan yang dapat digunakan untuk membentuk dan memotong plat aluminium dengan cara penekanan bagian atas, dari alat ini didukung oleh plat atas sebagai alat pemegang dan pengarah dari punch, sedangkan bagian bawah terdiri dari plat bawah dan *Dies* sebagai pendukung dan pengarah benda kerja.

Proses kerja alat ini berdasarkan gaya tekan yang diteruskan oleh *Punch* untuk memotong atau membentuk benda kerja sesuai dengan geometris dan ukuran yang diinginkan. Peralatan ini digunakan untuk membuat produk secara massal dengan produk *output* yang sama dalam waktu yang relative singkat.

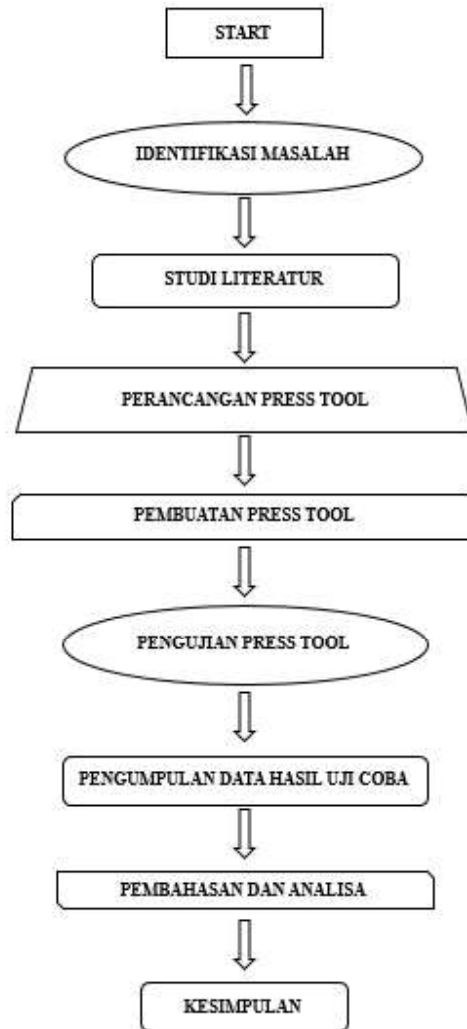
Press tool atau perkakas tekan adalah perkakas yang dirancang untuk melakukan sejumlah operasi pemotong atau pembentukan dalam beberapa stasiun kerja. Pada setiap langkah penekanan menghasilkan beberapa jenis pengerjaan yang berupa proses pemotongan atau pembentukan yang berbeda, pembuatan koin menggunakan metode *pierching* dan *blanking*.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian dalam pembuatan tugas akhir ini adalah untuk:

1. Membuat alat bantu *press tool* untuk membuat koin.
2. Memudahkan proses pembuatan koin untuk *workshop* di Teknik Mesin PNJ.
3. Menentukan besarnya beban yang diperlukan koin dalam perkakas tekan .

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir Proses

a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan pengamatan langsung dalam pembuatan koin. Adapun masalahnya adalah bagaimana membuat koin berbentuk oval dan tidak mudah ditiru pada *press tool*.

b. Studi Literatur

Studi literatur menggunakan referensi pustaka seperti jurnal, buku, dan karya ilmiah yang dapat menunjang pada proses pembuatan *press tool piercing* dan *blanking* pada pembuatan koin.

c. Perancangan *press tool*

Dalam proses perancangan terdapat proses penggambaran gambar kerja yang bertujuan untuk memudahkan dan mengefektifkan kerja dalam pembuatan *press tool*, umumnya menentukan ukuran-ukuran yang dibutuhkan, pemilihan bahan, dan penentuan jumlah komponen pendukung. Dalam proses

pembuatan terdiri dari berbagaimacam proses yaitu proses rancang bangun yang sesuai dengan gambar kerja.

d. Pembuatan *press tool*

Pembuatan *press tool* melalui proses permesinan yang terdiri dari proses *milling*, *boring*, *tapping*, *grinding*, *wirecut*, *hardening*, dan *finishing*. Setelah proses permesinan dilakukan maka akan dilakukan proses perakitan *press tool*, hingga *press tool* siap dilakukan pengujian.

e. Pengujian *press tool*

Tahapan ini dilakukan pada saat rancang bangun mesin telah selesai dibuat, dilakukan pengujian terhadap kinerja *press tool* apakah sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan atau tidak. Apabila *press tool* beroperasi sesuai dengan kebutuhan maka *press tool* telah berhasil. Namun jika tidak sesuai, maka dilakukan peninjauan kembali hal-hal yang salah terhadap *press tool* juga dilakukan modifikasi *press tool* sampai memenuhi kebutuhan.

f. Mengumpulkan data hasil uji coba

Setelah alat bantu *press tool* selesai dibuat lalu dilakukan pengujian dengan mengoperasikan alat tersebut. Dalam pengujian nanti akan dicatat dan dibandingkan waktu pembuatan koin.

g. Pembahasan dan analisa

Analisis cara kerja merupakan langkah untuk mengetahui bekerjanya alat sesuai dengan keinginan atau tidak, Karena jika tidak berfungsi secara maksimal maka harus dianalisa lagi bagian mana yang kurang tepat dalam perancangan atau perakitannya, dan diperbaiki agar kembali dapat berfungsi secara maksimal. Adapun Parameter yang diamati pada saat pengujian alat yaitu fungsi masing - masing komponen, uji karakteristik bahan, uji ketahanan alat terhadap bahan uji, efisiensi dan keefektifan alat.

h. Kesimpulan dan Saran

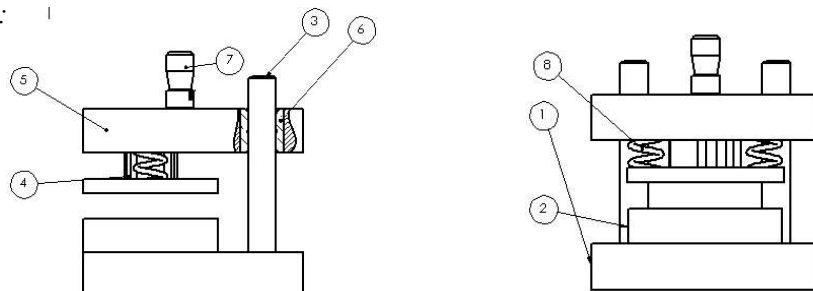
Langkah ini berisi mengenai kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan hasil analisis dan pengujian alat. Selain itu terdapat saran yang ditujukan baik untuk penulis, masyarakat, maupun untuk penelitian selanjutnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses Perancangan dan Analisis *Press Tool* Membuat Koin

Untuk bahan Aluminium 1060 mempunyai tegangan izin (σ_g) sebesar $200 [N/m^2]$ dan tebal 2 [mm].

Press tool yang akan dibuat yaitu dengan dimensi 160 x 160 x 160 [mm]. Berikut adalah detail gambar *press tool*:



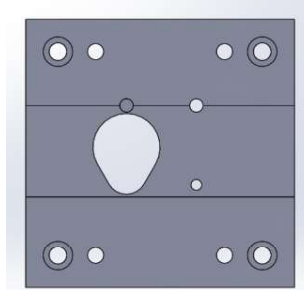
Gambar 2. Gambar bagian *press tool*

1. *Bottom plate*

Bottom plate digunakan untuk mendukung *dies* dan menempatkan pilar - pilar pengarah. *Bottom plate* yang biasanya digunakan terbuat dari bahan - bahan besi tuang atau baja yang lunak. Ukuran *bottom plate* 160 x 160 x 32 [mm] dihitung sesuai Standard FIBRO Aluminium *Die Sets similar*

DIN 9868/ISO 11415 without Stripper, Bahan *Bottom Plate* menggunakan SS400 dan Pembuatan *Bottom Plate* menggunakan mesin *milling*.

2. *Dies Koin*



Gambar 3. *Dies Koin*

Dies merupakan pasangan *punch* sebagai alat potong atau pembentuk plat yang dikerjakan. Bahan yang biasa digunakan adalah DF3 dikeraskan, didahului oleh proses permesinan. Ukuran *Dies* didapatkan 100 x 100 x 18 [mm] sesuai dengan perhitungan *Standard FIBRO Aluminium Die Sets*. Bahan *Dies* menggunakan SKD 11 dan Pembuatan *dies* menggunakan mesin *wire cut*.

3. *Pillar*

Pilar merupakan pengarah dari *top plate* yang tegak lurus terhadap komponen - komponen dibagian bawah. Bahan pilar yang sering digunakan dari baja karbon yang dikeraskan. Ukuran Pilar adalah diameter 20 [mm] dan panjang 100- 400 [mm] didapatkan dari *Standard FIBRO Guide Pillars DIN 9825/ISO 9182-2*, Bahan *pillar* menggunakan S45C dan Pembuatan *pillar* menggunakan mesin bubut.

4. *Punch*

Punch adalah bagian yang berpasangan dengan alat potong. Bahan yang digunakan biasanya baja krom yang dikeraskan pada 60 sampai 62 (HRC). Bahan yang digunakan untuk *punch* yaitu S45C dan Pembuatan *punch* menggunakan mesin *wire cut*.

5. *Top Plate*

Top plate berfungsi untuk memegang *punch* ataupun *punch holder*, selain itu *top plate* juga berfungsi untuk mendorong *punch* pada saat pemotongan. Ukuran *Top plate* 160 x 160 x 32 [mm] dihitung sesuai *Standard FIBRO Aluminium Die Sets similar DIN 9868/ISO 11415 without Stripper*, Bahan yang digunakan untuk *Top Plate* yaitu S45C dan pembuatan *Top Plate* menggunakan mesin *milling*.

6. *Bush*

Berfungsi untuk menjaga permukaan dari *top plate* dengan tujuan menghindari kerusakan *top plate* akibat gesekan dengan pilar. Untuk *Bush* menggunakan *Standard FIBRO Headed Guide Bushes to DIN 9831/ISO 9448-6, sintered ferrite carbonitrided, long-term lubrication* Bahan yang digunakan untuk *Bush* yaitu S45C dan Pembuatan *Bush* menggunakan mesin bubut.

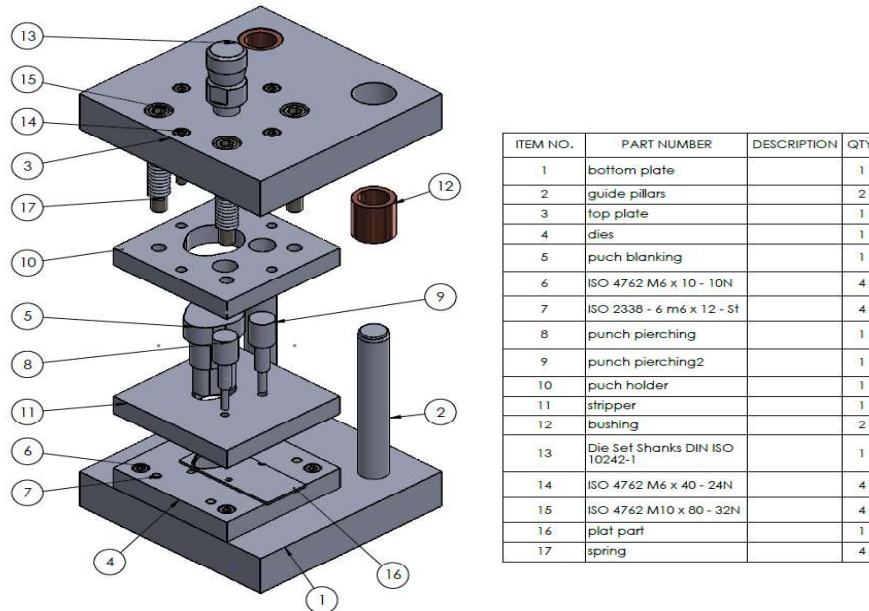
7. *Shank*

Shank adalah bagian perkakas tekan yang berfungsi untuk mendorong *top plate* pada saat pemotongan dan mengangkat *top plate* setelah pemotongan berlangsung. Bahan yang digunakan untuk *Shank* menggunakan S45C dan Pembuatan *shank* menggunakan mesin bubut.

8. *Per*

Per digunakan agar memudahkan mesin *press* saat memotong plat.

3.2 Detil Rancangan



Gambar 4. Design Press Tool

3.3 Prinsip Kerja

Proses pemotongan dan pembentukan yang diperoleh dari gaya mesin *press* dihubungkan dengan *shank*. Masukkan *stock strip* hingga menyentuh batas *stopper* pada *press tool*. *Punch* akan turun untuk melakukan penekanan terhadap benda kerja sehingga menyebabkan proses pembentukan dan pemotongan. Sebelum *punch* melakukan proses pengerjaan, pelat *stripper* akan menjepit *stock strip* terlebih dahulu agar tidak bergerak. Setelah *stock strip* terjepit oleh pelat *stripper*, *punch piercing* akan melakukan pemotongan yang menghasilkan lubang tengah dan sisi-sisi pada gasket, dilanjutkan *punch blanking* turun untuk melakukan pemotongan yang menghasilkan bentuk dari gasket itu sendiri.

3.4 Proses Pemotongan dan Pembentukan *Press Tool*

Proses *pierching*

Pierching merupakan proses pemotongan yang menghasilkan lubang secara utuh.

Proses *Blanking*

Blanking merupakan proses pengerjaan material dengan tujuan mengambil hasil produk yang sesuai dengan bentuk *punch*.

Pada umumnya proses ini dilakukan untuk membuat produk dengan cepat dan berjumlah banyak dengan biaya murah.

3.5

3.6 Hasil Kerja

Setelah dilakukan perancangan pembuatan *press tool* untuk membuat koin didapatkan dimensi dari *press tool* dengan beban yang dibutuhkan sebesar 4648 kg untuk bahan aluminium alloy 1060. Kemudian dilakukan uji coba untuk membuat koin pada *press tool* didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 1. uji coba *press tool* pembuatan koin

No	Uji Coba	Percobaan 1	Percobaan 2	Percobaan 3
1	Visual	Sesuai	Sesuai	Sesuai
2	Dimensi	84	84.80	85
3	Tekanan Pemotongan	Terdapat Sisi Tajam	Terdapat Sudut	Tepat

4. KESIMPULAN

1. Dapat membuat *press tool* untuk membuat koin dengan dimensi *Press Tool* 160mm x 160mm x 160mm
2. Dapat dengan mudah membuat koin yang dibutuhkan dengan menggunakan *press tool* yang menggunakan 2 metode sistem kerja yaitu *pierching* dan *blanking*
3. Besarnya beban pembuatan koin dengan besar 4648 [kg]

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Khurmi, R.S., Gupta, J.K. A Textbook Of Machine Design. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD. 2005.
- [2]. Rony Sudarmawan T. Tekonologi Press Dies. Kansius. 2009.
- [3]. Vukota Boljanovic, PH. D. Sheet Metal Forming Process and Die Design. New York 10016.
- [4]. <http://susetyo.staff.gunadarma.ac.id/Download/files/45232/Materi+mesin+press.doc>(30/5/2018/14:42WIB)
- [5]. <http://www.scribd.com/document/95830047/Materi-press-Tool> (30/5/2018 14:40WIB)
- [6]. www.FIBRO.com FIBRO Standard Catalogue. 2011.

RANCANG BANGUN MESIN PEMBERSIH BATOK KELAPA GENJAH

Liwardo Aji Wijaksono¹, Nida Hasanah¹, Nugroho Eko², Mochamad Sholeh²

^{1,2}Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424

Telp : +6221 7270044 Fax : (021) 7270034

Email : liwardoaji@yahoo.co.id, nidahasanah12@gmail.com,

nugroho.eko@mesin.pnj.ac.id, moch.sholeh@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Pohon kelapa genjah umumnya digunakan sebagai hiasan di halaman rumah karena rata rata bentuk pohonnya pendek dan buah kelapanya berukuran kecil serta buahnya memiliki warna yang menarik. Selain itu kelapa genjah umumnya juga dimanfaatkan hanya untuk dikonsumsi air dan daging buahnya. Kelapa genjah rata rata berdiameter 110 [mm], berat 750 – 800 [gram], dan isi volume air 520 [ml]. Ukuran yang lebih kecil ini membuat kelapa genjah mudah digenggam tangan sehingga memungkinkan untuk menjadi pilihan dari minuman kelapa muda dengan ukuran kecil. Untuk membuat kelapa genjah memiliki nilai jual yang lebih tinggi, tampilan kelapa genjah akan dibuat lebih menarik. Kelapa genjah akan dikupas dari serabutnya, dan disajikan dalam bentuk utuh berbatok. Namun setelah proses pengupasan serabut kelapa genjah, masih terdapat sisa serabut yang menempel pada batok kelapa. Hal ini membuat pembersihan lanjutan batok kelapa perlu dilakukan untuk menghasilkan penampilan kelapa genjah yang lebih menarik, bersih dan halus permukaan batoknya. Pembersihan secara manual dengan sikat, menghasilkan permukaan yang masih cenderung kasar dan tidaklah efektif waktu serta tenaga jika untuk jumlah yang banyak. Oleh sebab itu diperlukan suatu mesin pembersih batok kelapa genjah untuk membersihkan sisa serabut yang masih menempel dan sekaligus mampu untuk menghaluskan permukaan batoknya. Pada rancang bangun ini kelapa genjah yang sudah dikupas serabutnya akan diproses dalam keadaan utuh berbatok. Mesin pembersih batok kelapa genjah ini menggunakan media pembersih statis berupa parutan berukuran 4 [mesh] yang dibuat berbentuk tabung, kelapa akan diletakan dibagian pemegang kelapa lalu kelapa genjah diputar menggunakan kecepatan berkisar 102 [rpm] dengan penggerak menggunakan motor listrik berdaya 1 [HP]. Pada sekali proses kapasitas mesin ini adalah 4 buah kelapa dan membutuhkan waktu \pm 3 menit.

Kata Kunci: kelapa genjah, media pembersih dan penghalus, mesin pembersih batok kelapa genjah.

Abstract

Genjah coconut tree is commonly used as a decoration in the home's park because of average shape of the trees are short and the coconut fruit has a small size with an interesting color. In addition the genjah coconut generally also utilized only for consumed water and flesh of the fruit. Genjah coconut average has 110 diameter [mm], weight of 750 – 800 [gram], and the contents of the water volume 520 [ml]. The smaller size makes the genjah coconut easily gripped by the hand so as to allow for the choice of the young coconut drinks with small size. To make the genjah coconut has a higher value, the display of the genjah coconut be made more beautiful. Genjah coconut will be pared from his fibers, and presented in the form of whole shells. However, after the process of stripping the genjah coconut fibers, there is still the rest of the fibers that attach to the coconut shell. This makes needed coconut shell advanced cleaning to be done to make the genjah coconut appearance is more beautiful, clean and smooth the surface of his shell. Manually cleaning with brush, resulting in a surface that is still likely to be rough and it is not effective at the time and energy for large quantities. Therefore required a cleaning machine for genjah coconut shell to clean the rest of the fibers sticking and simultaneously able smoothing the surface of the shell. In this development, the genjah coconut fibers already peeled for processed in shell intact condition. Cleaning machine of genjah coconut using static cleaners is grater sized 4 [mesh] which is shaped a tube, genjah coconut is placed on coconut holder then genjah coconut will be rotated using at speeds ranging from 102 [rpm], movements using electric motors empowered 1 [HP]. At one process capacity of machine are 4 coconuts and needed \pm 3 minutes.

Keywords: genjah coconut, cleaners and polishing medium, genjah coconut cleaning machine.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pohon kelapa genjah umumnya dimanfaatkan sebagai hiasan di halaman rumah karena memiliki pohon yang pendek dan buah berwarna menarik. Buah kelapa genjah adalah salah satu jenis variasi dari buah kelapa yang memiliki diameter lebih kecil dibanding kelapa biasanya (kelapa muda/ kelapa santan), saat ini kelapa genjah mudah ditemukan di Indonesia dan hampir seluruh bagian buahnya dapat dimanfaatkan. Pada kelapa genjah, yang umumnya dimanfaatkan adalah kelapa genjah yang masih muda dan akan diambil daging buah serta airnya untuk dikonsumsi. Ukuran kelapa genjah yang lebih kecil ini, membuat kelapa genjah mudah digenggam tangan sehingga memungkinkan untuk menjadi pilihan dari minuman kelapa muda dengan ukuran kecil. Untuk meningkatkan nilai jual yang lebih tinggi, kelapa genjah akan dibuat lebih menarik dengan cara dikupas serabutnya dan disajikan dalam bentuk utuh berbatok. Namun umumnya pada pengupasan serabut kelapa genjah hasilnya masih menyisakan serabut yang menempel pada dinding batok kelapa genjah. Hal ini membuat pembersihan batok kelapa harus dilakukan untuk membuat tampilan kelapa menjadi bersih, halus, dan lebih menarik.

Melakukan pembersihan sisa serabut yang menempel pada batok kelapa biasanya dilakukan dengan cara menyikat bagian batok kelapa genjah dengan menggunakan sikat secara manual. Terdapat juga mesin yang sudah bisa membersihkan dan menghaluskan batok kelapa genjah, tetapi kelapa yang diproses masih satu per satu [1]. Hal ini untuk jumlah yang banyak, dianggap kurang efektif waktu dan tenaga. Oleh sebab itu dibuatlah Mesin Pembersih Batok Kelapa Genjah yang dapat membersihkan dan menghaluskan 4 buah batok kelapa genjah dalam sekali proses, guna mempercepat proses pembersihan sisa serabut yang masih menempel sekaligus menghaluskan permukaan batoknya dengan tetap menjaga keutuhan bentuk dari buah kelapa genjah.

1.2 Tujuan

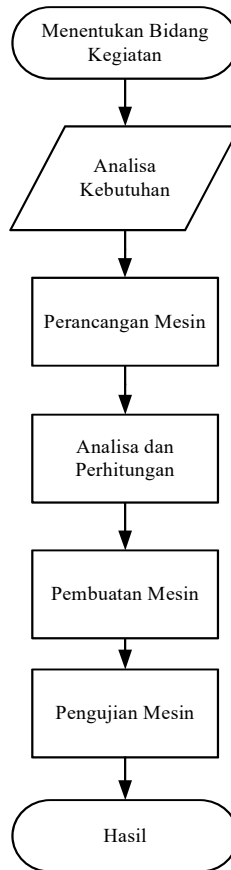
Tujuan dari rancang bangun mesin pembersih batok kelapa genjah ini adalah untuk membuat tampilan kelapa genjah lebih menarik siap saji dimeja dan meningkatkan nilai jual.



Gambar 1. Kelapa Thailand

2. METODOLOGI PELAKSANAAN

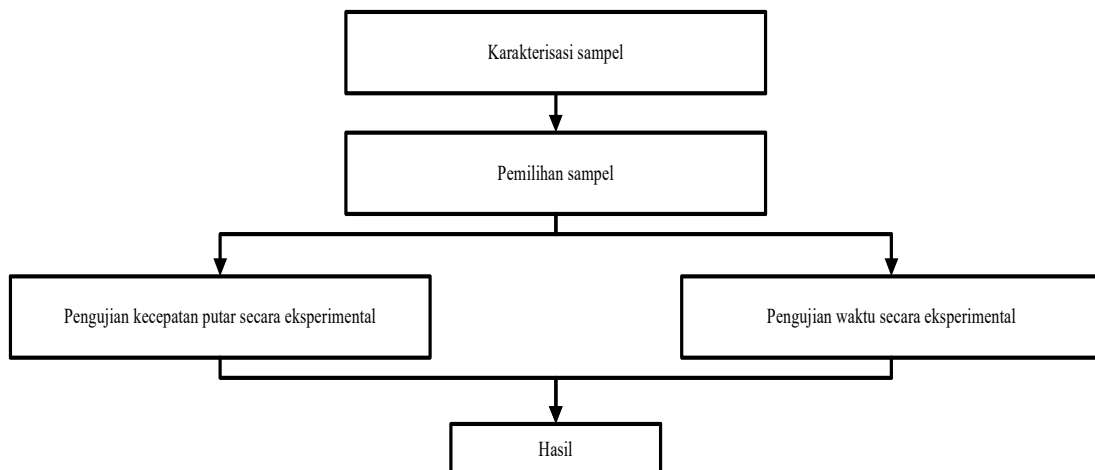
2.1 Metode Pelaksanaan Rancang Bangun



Gambar 2. Flowchart metodologi pelaksanaan

2.2 Metode Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan kelapa genjah yang sudah dikupas terlebih dahulu serabutnya. Kemudian dipilih 4 buah kelapa genjah berdasarkan bentuk dan ukuran yang seragam.



Gambar 3. Roadmap Penelitian

Alat dan Bahan

- | | |
|--------------------------------------|--------------------|
| 1. Kelapa genjah muda umur 6-7 bulan | 5. Ampelas |
| 2. Timbangan | 6. Polishing wheel |
| 3. Tacho meter | 7. Vernier Caliper |
| 4. Parutan | 8. Stopwatch |

2.3 Gaya Gesek

Gaya gesek merupakan suatu gaya yang berarah melawan gerak benda atau arah kecenderungan benda bergerak. Gaya gesek muncul jika dua buah benda bersentuhan.

Pada gaya gesekan gelinding berlaku persamaan

$$F_f = \mu_r \times F_N \dots\dots\dots [Persamaan. 1]$$

$$\mu_r = \frac{b}{R} \dots\dots\dots [Persamaan. 2]$$

Keterangan :

- F_f = Gaya gesekan gelinding
- μ_r = Koefisien gesekan gelinding
- F_N = Gaya normal
- b = konstanta koefisien gesekan gelinding
- R = jari- jari benda gelinding

2.4 Daya Motor

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja, jadi torsi adalah suatu energi. Besaran torsi adalah besaran turunan yang biasa digunakan untuk menghitung energi yang dihasilkan dari benda yang berputar pada porosnya

Rumus mencari torsi :

$$T = F \times r [Nm] \dots\dots\dots [Persamaan. 3]$$

dengan :

- T = torsi mesin [Nm]
- F = beban [N]
- d = jarak pembebanan dengan pusat perputaran [m]

Sedangkan power yang dihitung dengan satuan Kw (Kilo watts) atau Horse Power (HP) mempunyai hubungan erat dengan torque. Power dirumuskan sbb :

$$P = T \times \omega \dots\dots\dots [Persamaan. 4]$$

$$P = \frac{T \times 2 \times \pi \times n}{60 \times 1000} \dots\dots\dots [Persamaan. 5]$$

dengan :

- P = Daya [watt]
- T = Torsi [Kg.mm]
- ω = Kecepatan Sudut [Rad/s]
- n = Kecepatan Putar [RPM]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembahasan

3.1.1 Karakterisasi Kelapa Genjah

Kelapa genjah merupakan jenis kelapa yang memiliki ukuran diameter yang kecil dibanding jenis kelapa lainnya. Pada penentuan media pembersih yang akan digunakan untuk rancang bangun

mesin pembersih batok kelapa genjah ini dilakukan percobaan dengan kelapa genjah sebanyak 10 buah dengan ukuran diameter serta berat yang berbeda- beda. Berikut data karakteristik fisik dari buah kelapa genjah yang digunakan untuk percobaan.

Tabel 1. Data Karakteristik Kelapa Genjah

No.	Diameter Besar [mm]	Diameter Kecil [mm]	Tinggi [mm]	Berat [g]
1.	104	105	122	800
2.	106	109	123	750
3.	100	104	119	750
4.	100	102	123	800
5.	100	109	121	770
6.	102	107	119	805
7.	102	111	116	720
8.	109	110	115	800
9.	109	110	127	750
10.	102	107	121	720

Didapatkan : Rata rata diameter besar = 103,4 [mm]
Rata rata diameter kecil = 107,4 [mm]
Rata rata tinggi kelapa = 120,6 [mm]
Rata rata berat kelapa = 766,5 [gram]



Gambar 4. Kelapa sebelum dibersihkan

3.1.2 Penentuan Media Pembersih

Pada penelitian ini, media pembersih yang akan digunakan ialah ampelas, sikat kawat, dan parutan. Penentuan media pembersih dilakukan secara manual dengan menggosokkan media pembersih secara langsung ke permukaan batok kelapa genjah menggunakan tangan. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental.

3.1.2.1 Ampelas

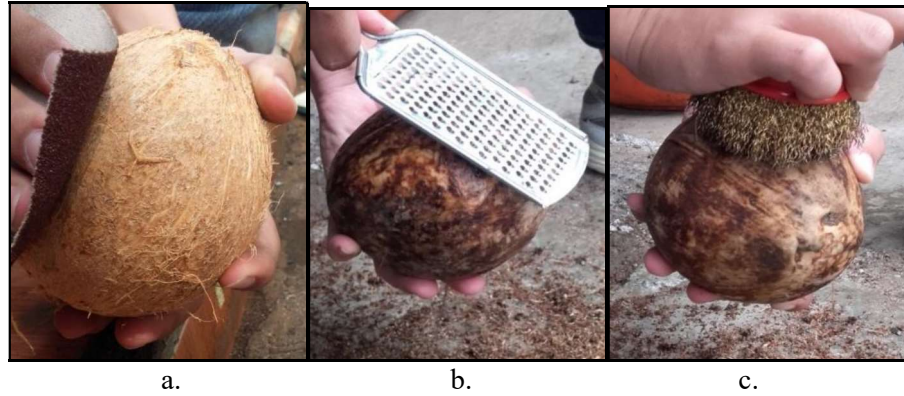
Pada percobaan yang dilakukan, ampelas yang digunakan untuk membersihkan sisa serabut pada batok kelapa digunakan nomor 150. Hasil dari percobaan ini yaitu ampelas yang digunakan terkikis habis sebelum batok kelapa bersih sehingga media ampelas untuk membersihkan batok kelapa tidak efektif. Berdasarkan pengamatan, hal ini diakibatkan kertas ampelas tidak terlalu kuat untuk membersihkan sisa serabut yang masih menempel pada batok kelapa.

3.1.2.2 Sikat Kawat (*Steel Wire Brush*)

Pada percobaan ini sikat kawat digunakan untuk membersihkan serabut sisa pada batok kelapa. Hasil dari percobaan ini yaitu batok kelapa tidak bersih secara keseluruhan karena masih terdapat serabut sisa. Berdasarkan pengamatan, hal ini diakibatkan karena sikat kawat tidak terlalu kuat untuk mengikis sisa serabut yang masih menempel sehingga tidak membuat sisa serabut yang masih menempel terlepas dari permukaan batok kelapa.




3.1.2.3 Parutan

Pada percobaan yang dilakukan, parutan yang digunakan adalah parutan dengan ukuran 4 [mesh] dengan material stainless steel. Hasil yang didapat dari percobaan ini yaitu btok kelapa menjadi bersih dan permukaan batok menjadi halus. Berdasarkan pengamatan, hal ini disebabkan karena parutan lebih kuat untuk melakukan pengikisan sisa serabut yang menempel pada batok kelapa sehingga sisa serabut dapat terlepas dari batok kelapa.



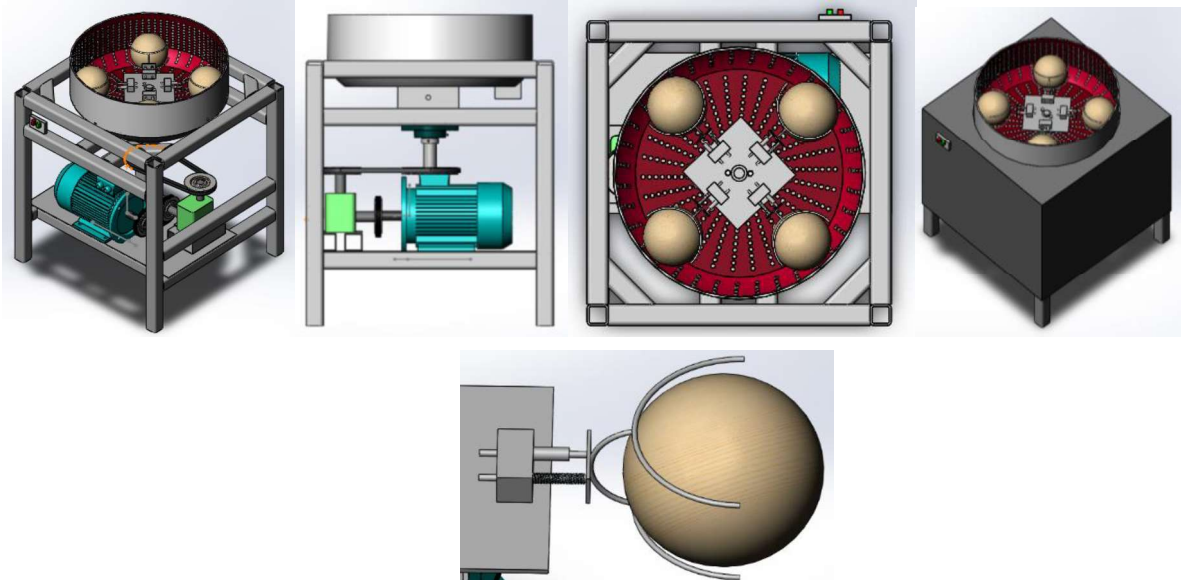
Gambar 5. a). Percobaan dengan ampelas b). Percobaan dengan parutan, c).Percobaan dengan sikat kawat

Tabel 2. Hasil Pengujian Manual

Media	Hasil	Waktu	Keterangan
Ampelas		-	Tidak Efektif / Tidak Dapat Dilakukan
Sikat Kawat		7 Menit 52 Detik	Tidak Efektif
Parutan		5 Menit 10 detik	Efektif

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan beberapa media pembersih maka dapat disimpulkan bahwa media pembersih yang digunakan pada mesin pembersih batok kelapa genjah ini adalah parutan.

3.1.3 Konsep Rancangan



Gambar 6. Konsep Rancangan

Spesifikasi mesin yang diharapkan :

- Media pembersih : Parutan ukuran 4 [mesh]
- Dimensi : 570×570×768 [mm]
- Transmisi : Sabuk (V-Belt), Speed Reducer 1 : 10
- Daya : Motor Listrik 1 [HP]

3.1.4 Menentukan kecepatan putaran mesin

Menentukan kecepatan putar mesin yang dibutuhkan, dilakukan dengan melakukan percobaan menggunakan engkol yang diputar secara manual.

Tabel 3. Hasil pengujian menentukan kecepatan putaran mesin

Waktu [Menit]	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	5
Kecepatan [RPM]	103	113	104	98	119	100	82	98

Kecepatan yang akan digunakan untuk mesin ini adalah kecepatan rata rata dari hasil percobaan, dan kecepatan rata ratanya ialah **102 [RPM]**

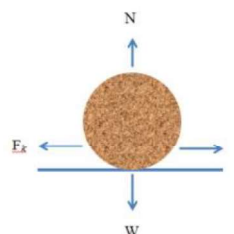
3.1.5 Analisa Gaya Gesek

Menghitung gaya gesek yang terjadi antara permukaan parutan dengan kelapa yang diuji. Berat kelapa diambil 800 [gr] dengan diameter 127 [mm]. Berdasarkan hasil percobaan secara manual, maka kecepatan putaran yang dibutuhkan untuk membersihkan batok kelapa adalah 102 [rpm] dan jarak pembebanan dengan pusat putaran 180 [mm]. Mesin ini dapat membersihkan batok kelapa 4 buah dalam sekali proses.

$$\text{nilai } b = 0,0012 \text{ [4]}$$

$$\mu_k = \frac{b}{R} = \frac{0,0012}{0,0635} = 0,0189$$

$$\sum F_y = 0$$



$$N - W = 0$$

$$N = W$$

$$N = m \times g$$

$$F_N = m \times g \times \text{jumlah kelapa}$$

$$F_N = 0,8 \text{ [Kg]} \times 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \times 4$$

$$F_N = 31,392 \text{ [Kg.m/s}^2\text{]}$$

$$F_N = 31,392 \text{ [N]}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$F - F_k = 0$$

$$F = F_k = \mu_k \times F_N$$

$$F_k = 0,0189 \times 31,392 = 0,5933 \text{ [Kg.m/s}^2\text{]}$$

$$\omega = \frac{2\pi \times n}{60} = \frac{2\pi \times 102}{60} = 10,681 \text{ [rad/s]}$$

$$a_s = \omega^2 \times r$$

$$a_s = (10,681)^2 \times 0,18 = 20,54 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\sum F_x = m \times a$$

$$F - F_k = m \times a$$

$$F = m \times a + F_k$$

$$F = (0,8 \times 20,54 \times 4) + 0,5933$$

$$F = 66,3213 \text{ [kg.m/s}^2\text{]}$$

3.1.6 Penentuan Daya Motor

Daya yang dibutuhkan untuk dapat membersihkan batok kelapa dari serabut sisa dapat dilakukan analisis sebagai berikut.

$$T = F \times r \text{ [Nm]}$$

$$T = 66,3213 \times 0,18$$

$$T = 11,9378 \text{ [Nm]}$$

$$P = T \times \omega$$

$$P_{\text{aktual}} = \frac{2\pi \times N \times T}{60} = \frac{2\pi \times 102 \times 11,9378}{60 \times 735,75} = 0,1733 \text{ HP} = 0,2 \text{ HP}$$

$$\eta_{\text{bearing}} = 99,82\% \text{ (efisiensi tapered roller bearing)}$$

$$\eta_{\text{Pulley}} = 70\% \text{ (khurmi)}$$

$$\eta_{\text{reducer}} = 79\% \text{ (efisiensi reducer rasio 1:10)}$$

$$\cos \phi = 0,76 \text{ (power factor motor listrik)}$$

f_c = faktor koreksi (sularso)

$$P_{\text{efektif}} = \frac{0,2}{\eta_{\text{bearing}} \times \eta_{\text{Pulley}} \times \eta_{\text{reducer}} \times \eta_{\text{motor}}} \times f_c$$

$$P_{\text{efektif}} = \frac{0,2}{99,82\% \times 99,82\% \times 70\% \times 70\% \times 79\%} \times 1,5 = 0,77 \text{ [HP]}$$

$$P_{\text{motor}} = \frac{0,77}{0,76} = 1 \text{ [HP]}$$

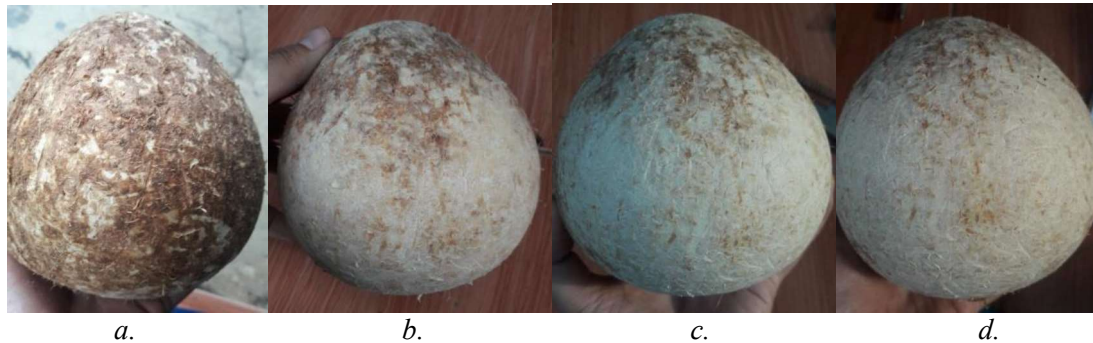
Jadi motor yang akan digunakan adalah motor listrik berdaya 1 [HP].

3.2 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan untuk menentukan waktu ideal yang dibutuhkan dalam proses pembersihan batok kelapa genjah. Pengujian dilakukan secara manual dengan memutar engkol. Berikut hasil percobaan yang dilakukan dengan waktu yang berbeda-beda.

Tabel 4. Hasil Percobaan

No.	Waktu [Menit]	Kecepatan Putaran [Rpm]
1.	1 menit	87,5
2.	2 menit	103,25
3.	3 menit	103
4.	4 menit	82



Gambar 7. Hasil percobaan a) 1 menit, b) 2 menit c) 3 menit d) 4 menit

Berdasarkan hasil percobaan diatas, proses membersihkan batok kelapa genjah yang dilakukan dalam waktu 4 menit untuk menghasilkan batok kelapa yang bersih dan putih dengan kecepatan putaran yang berbeda- beda 82- 103,25 [Rpm]. Pada hasil percobaan diatas proses pengikisan sisa serabut kelapa yang menempel berbanding lurus dengan waktu pengikisan, maka dari itu semakin lama waktu pengikisan maka hasilnya semakin bersih dan putih permukaan batoknya. Pada percobaan dimenit ke 3 proses pembersihan permukaan kelapa telah mencapai hasil yang maksimal, karena pada menit ke 4 hasil dari proses pengikisan tidak terjadi perubahan yang signifikan. Selain itu, pada menit ke 4 terdapat beberapa kelapa yang bocor ketika terkikis secara terus menerus dalam waktu yang lama.



Gambar 8. Kelapa bocor

4. Kesimpulan

1. Kelapa genjah memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda beda, untuk itu perlu dikarakterisasikan bentuk kelapa yang sejenis dalam penggunaan mesin ini.
2. Ukuran rata rata kelapa genjah adalah diameter kecil 103 [mm], diameter besar 107 [mm], tinggi 120 [mm] dan berat kelapa rata- rata 766,5 [gram].
3. Media pamarut statis berukuran 4 [mesh] membantu proses pembersihan serabut sisa sekaligus menghaluskan permukaan batok kelapa. Hasil yang maksimum didapatkan yaitu menggunakan putaran ± 102 rpm dalam waktu 3 menit menghasilkan tingkat kebersihan dan kehalusan yang baik untuk 4 buah kelapa pada sekali prosesnya, serta dapat menjaga keutuhan dari kelapa genjah itu sendiri (tidak pecah).

5. Daftar Pustaka

- [1] Zhao, Kuanxue. 2016. Coconut Polishing Machine. CN106723126(A), filed December 10, 2016, and issued May 31, 2017.

- [2] Khurmi, R.S., Gupta, J.K. 2005. A Textbook Of Machine Design. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD.
- [3] Sularso., Kiyokatsu, Suga. 1987. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta, Pradmya Paramita.
- [4] Hsu, Tom., Chaniotakis, Manos., Pahre, Michael. Essential Physics TextBook. California. 2018. hal. 158.

RANCANG BANGUN PERKAKAS TEKAN PEMBUAT *COLLAR HORN SET*
DI PT. MADA WIKRI TUNGGAL

Zefania Tiominar¹, Thoriq Abdul Wahid¹, Arif Rahman¹, Soma Wijaya¹, Budi Yuwono², Ariek Sulistyowati²
Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. G. A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424
Telp : +6221 7270344 Fax : (021) 7270034
Email : tiominarzefania.zt@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik mesin Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Collar horn set merupakan salah satu jenis *produk* yang diproduksi PT. Mada Wikri Tunggal untuk memenuhi kebutuhan customernya, yaitu PT. Astra Honda Motor. Proses pembuatan *collar horn set* di perusahaan ini melalui 4 proses, yaitu *blanking*, *bending 1*, *bending 2*, dan *curling*. Dan proses tersebut tidak efektif karena membutuhkan waktu yang lama, proses yang panjang, jumlah operator dan penggunaan mesin *stamping* yang banyak. Sehingga untuk membuat *collar horn set* membutuhkan *cycle time* yang lama dan tidak efisien. Oleh karena itu, tujuan karya ilmiah ini untuk mengurangi proses dibuatlah perkakas tekan yang menggabungkan ketiga proses tersebut menjadi satu proses pada mesin *multiple-slide*. Mesin *multiple-slide* adalah mesin yang memproses pembentukan logam dengan menggunakan gaya tekan untuk mengubah bentuk atau ukuran dari logam dengan satu kali pengerjaan dalam waktu yang cepat.

Metode penelitian dilakukan dengan cara *trial* dan *error*, tahap pertama adalah observasi dan merumuskan masalah-masalah yang kemungkinan akan muncul, kemudian dilanjutkan dengan merancang, membuat perhitungan gaya dan menentukan material. Lalu dilanjutkan dengan proses *machining*. Setelah hasil perkakas tekan sesuai yang diharapkan, lalu merakit komponen perkakas tekan pada mesin *multiple-slide*. Lalu membuat produk *collar horn set* dengan metode *trial* dan *error*. Setelah melakukan metode *trial* dan *error* maka hasil *collar* terbentuk sesuai dengan yang diinginkan.

Produk *collar horn set* ini dibuat dengan material SPCC. Rancang bangun *dies* ini memiliki beberapa part yaitu *die holder*, *holder pin*, *pin collar*, *punch bending 1*, *punch bending 2*, *punch cutting*, dan *bending*. *Collar horn set* ini dapat dibuat dengan bantuan mesin *multiple slide* dan menggunakan *dies collar horn set* itu sendiri. Hasil yang didapat yaitu memiliki diameter luar 8,5 [mm] serta diameter dalam 6,5 [mm] dengan tinggi 5,1 [mm] dan tebal 1 [mm] dan dampaknya tidak memiliki scrap yang terbuang.

Kata Kunci: *Collar Horn Set*, Perkakas Tekan, Mesin *multiple-slide*, Material SPCC

Abstract

Collar horn set is one kind of product produced by PT. Mada Wikri Tunggal to fulfill the needs of its customer, namely PT. Astra Honda Motor. The process of making collar horn sets in this company is through 4 processes, namely *blanking*, *bending 1*, *bending 2*, and *curling*. And the process is not effective because it takes a long time, a long process, the number of operators and the use of a lot of stamping machine. So to make a collar horn set requires a long cycle and inefficient. Therefore, the purpose of this scientific work, to reduce the process of making press tools that combine the three processes into a process on *multiple-slide* machine. *Multiple-slide* machine is a machine that process metal formation by using compressive force to change the shape or size of metal with one-time processing in a fast time.

The research method is done by *trial* and *error*, the first step is observation and formulate the problems that will likely arise, then proceed with designing, making the calculation of style and determine the material. Then proceed with *machining* process. After the result of the press tool as expected, then assemble the compression tool component on a *multiple-slide* machine. Then make a collar horn product set with *trial* and *error* method. After doing the *trial* and *error* methods then the collar is formed according to the desired.

This collar horn product set made with SPCC material. The design of this dies has several parts: *die holder*, *pin holder*, *collar pin*, *punch bending 1*, *punch bending 2*, *punch cutting*, and *bending*. This horn collar set can be made with the help of *multiple slide* machine and use *dies collar horn set* itself. The results obtained are having an outer diameter of 8.5 [mm] and an internal diameter of 6.5 [mm] with a height of 5.1 [mm] and a thickness of 1 [mm] and the impact has no scrap wasted.

Key word: *Collar Horn Set*, Press Tool, *multiple-slide* machine, SPCC material.

1. Latar Belakang dan Tujuan

1.1 Latar Belakang

PT Mada Wikri Tunggal merupakan salah satu perusahaan yang membuat komponen *spare part* pada kendaraan bermotor, dimana salah satu customernya adalah Astra Honda Motor (AHM). Salah satu komponen yang dibuat adalah *Collar Horn Set*. Pada umumnya Perusahaan Mada Wikri Tunggal membuat *Collar Horn Set* menggunakan Mesin *Stamping*, tetapi dengan penggunaan mesin ini dinilai kurang efisien dari berbagai segi. Mulai dari segi waktu, tenaga pekerja, bahkan materi yang dikeluarkan. Karena hanya untuk membuat 1 buah *Collar Horn Set* harus melewati 4 proses *stamping* yang dimana setiap proses memiliki perkakas tekan yang berbeda. Mulai dari proses *blanking* (pemotongan), *bending* (penekukan) dan *curling*. Karena itu, kami melihat adanya potensi untuk menciptakan dan mengembangkan suatu alat pembuat *Collar Horn Set* secara efektif dan efisien dengan tujuan mengurangi kerugian.

Pada divisi *Dies Shop* di PT Mada Wikri Tunggal terdapat beberapa alat pengembangan, salah satunya adalah mesin *multiple-slide* yang proses pembentukannya dari lembaran logam dengan menggunakan gaya tekan untuk mengubah bentuk dan ukuran dari logam yang dikerjakan. Ide ini di adaptasi dari cara kerja mesin *multiple-slide* yaitu mesin pembuat *Pin Split* yang lebih efektif dan efisien dari penggunaan mesin *stamping*. Karena prinsip kerja mesin yang di adaptasi ini digunakan untuk mengembangkan pembuatan perkakas tekan *collar horn set* dengan menggabungkan beberapa proses menjadi 2 proses dalam satu kali pengerjaan pada mesin *multiple-slide*, yaitu *cutting* dan *bending*, serta mempermudah pengeluaran produk oleh *ejector split*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, perumusan masalah pada penelitian ini adalah ingin mengembangkan pembuatan *collar horn set* dengan lebih efisien dalam waktu dan biaya pembuatan, biaya material, biaya listrik, dan biaya operator. Pengembangan alat ini dilakukan melalui proses rancang bangun suatu alat perkakas tekan untuk membuat *collar horn set* dengan menggunakan mesin *multiple-slide*.

1.3 Tujuan

- Mengetahui *collar horn set* dapat dibuat menggunakan mesin *multiple-slide*.
- Mengefisiensikan waktu produksi dari 25 detik menjadi 4 detik dan jumlah operator dari 3 orang untuk mengoperasikannya dikurangi menjadi hanya 1 orang. Karena pada proses sebelumnya pembuatan *collar* membutuhkan 4 proses dengan 3 kali pengerjaan pada mesin *stamping*.
- Merancang *dies* untuk pembuatan *collar horn set* di mesin *multiple-slide*.
- Mengefisiensikan biaya listrik, operator, dan pembuatan perkakas tekan untuk membuat *collar horn set*.

2. Metodologi Pelaksanaan

2.1 Tahapan Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan cara *trial and error*, tahap pertama adalah observasi dan merumuskan masalah-masalah yang kemungkinan akan muncul, kemudian dilanjutkan dengan merancang, membuat perhitungan gaya dan menentukan material. Lalu dilanjutkan dengan proses *machining*. Setelah hasil perkakas tekan sesuai dengan yang diharapkan, lalu merakit komponen perkakas tekan pada mesin *multiple-slide*. Lalu membuat produk *collar horn set* dengan metode *trial and error*. Setelah melakukan metode *trial and error* maka hasil *collar* dapat terbentuk sesuai dengan yang diinginkan.

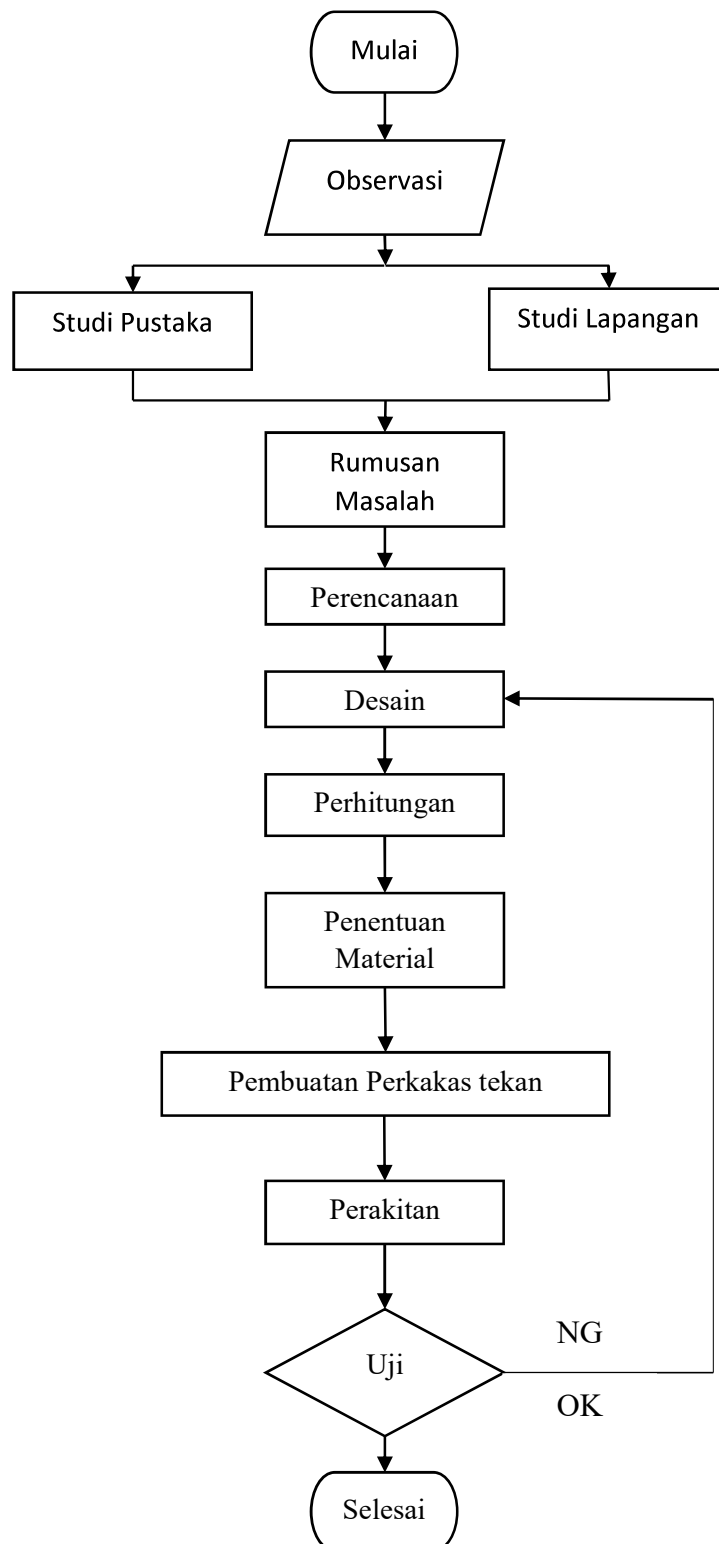
2.2 Lokasi Penelitian

Rancang bangun ini dilakukan di PT. Mada Wikri Tunggal, divisi *Dies Shop* dan *Quality Control* yang berlokasi di Jalan Gemalapak Kav C3, Desa Pasir Sari, Cikarang, Bekasi, Jawa Barat.

2.3 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan pada rancang bangun ini adalah Mesin *multiple-slide*, mesin *Wirecut Sodick*, mesin *Profile Projector* dan jangka sorong. Sedangkan bahan perkakas tekan dan pelat yang dipakai untuk rancang bangun adalah SKD 11 dan pelat SPCC, dengan dimensi pelat: 1 [mm], 23 [mm], dan 5.1 [mm].

2.4 Diagram Alir



3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Observasi

Adalah teknik pengumpulan data yang dilakukan secara sistematis dan dengan sengaja, yang dilakukan melalui pengamatan dan pencatatan permintaan customer mitra yang telah didiskusikan. Observasi yang kami lakukan adalah dengan terjun langsung kelapangan menemui kepala bagian divisi dies shop. Dari observasi yang telah dilakukan, ternyata memang benar bahwa proses pembuatan *Collar* kurang efisien karena membutuhkan banyak dies untuk 1 produk *Collar*, dimana pembuatan untuk part tersebut membutuhkan waktu yang lama karena melalui 4 kali proses.

3.2 Studi Pustaka

Setelah merumuskan masalah, kami mencari berbagai sumber pustaka yang digunakan sebagai rujukan untuk menyelesaikan masalah pada mitra. Sumber pustaka dapat diperoleh dari berbagai buku pustaka, jurnal ilmiah, artikel ilmiah, dll. Di tahap ini kami juga berdiskusi dengan teman yang mempunyai pengetahuan terkait mesin ini, mencari referensi dari internet, berdiskusi dengan dosen pembimbing yang terkait serta berdiskusi dengan karyawan bengkel mesin untuk mengetahui harga material dan perhitungan gyaa yang dibutuhkan.

3.3 Studi Lapangan

Bersamaan dengan mencari dan menyelesaikan masalah lewat studi pustaka, kami juga mencari melalui studi lapangan. Studi lapangan ini kami peroleh melalui penjelasan dan informasi dari para pegawai dan operator yang mengoperasikan mesin yang telah berpengalaman untuk mengetahui jenis dan sifat material, harga material, proses machining, subcont material, dan lain sebagainya.

3.4 Perencanaan Alat

Kajian Perbandingan Alat yang Sudah Ada

MESIN STAMPING					
Nama Proses	Cycle time (s)	QTY/Jam	Harga Pembuatan	Biaya Listrik (Bulan)	Jumlah Produk [pcs]
Blanking	4	900	Rp 7,855,000.00	Rp 847,342.65	16,200
Bending 1 & 2	12	300	Rp 8,000,000.00		5,400
Curling	7	514	Rp 6,000,000.00		9,252
Total	23	514	Rp 21,855,000.00	Rp 847,342.65	9,252

Kelebihan menggunakan mesin *stamping* :

1. Control panel cukup lengkap, sehingga memudahkan proses *setting* yang kompleks.
2. Mudah dalam menganalisa jika terjadi kerusakan, dikarenakan setiap proses memerlukan perkakas tekan yang berbeda..
3. Hasil cetakan mempunyai kepresisian cukup tinggi.

4. Tenaga pada proses *stamping* dapat disalurkan secara merata..

Kekurangan menggunakan mesin *stamping* :

1. Stamina operator cepat menurun diakibatkan banyaknya proses.
2. Tingkat *safety* pada operator terlalu rendah.
3. Pembuatan dies memerlukan biaya yang besar.
4. Biaya listrik cukup mahal dikarenakan menggunakan lebih dari satu mesin dan motor listrik. yang berbeda pada mesin *stamping* sebesar 5,5 [kW] sedangkan pada mesin *multiple-slide* sebesar 0,75 [kW].
5. Pada proses *stamping* mewujudkan getaran dan kebisingan.

MESIN <i>MULTIPLE-SLIDE</i>					
Nama Proses	Cycle time (s)	QTY/Jam	Harga Pembuatan	Biaya Listrik (Bulan)	Jumlah Produk [pcs]
Cutting	2	1,200	Rp 2,151,600	Rp 7,703.22	21,600
Bending 1 & 2	2				
Total	4	1,200	Rp 2,151,600	Rp 7,703.22	21,600

Kelebihan menggunakan mesin *multiple-slide* :

1. Proses lebih cepat, sehingga menghasilkan jumlah produk yang banyak.
2. Tidak menyisakan *scrap*.
3. Tingkat *safety* sangat tinggi.
4. Perawatan mesin cukup mudah.
5. Hemat biaya listrik, karena memerlukan daya listrik cukup rendah.
6. Mengurangi biaya pembuatan dies dan *man power*.

Kekurangan menggunakan mesin *multiple-slide* :

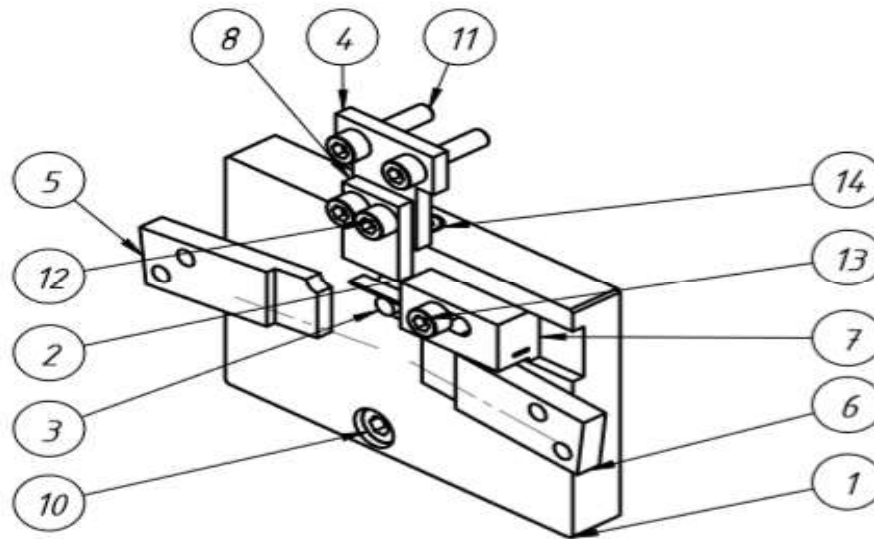
1. Tingkat kepresisian rendah karena proses sangat cepat.
2. Control panel sangat minim, sehingga sulit mengamati kondisi mesin.
3. Tenaga pada mesin tidak merata.
4. Sulit menganalisa perkakas tekan jika terjadi kecacatan pada produk.

3.5 Desain dan Konsep Rancangan Alat

Berdasarkan hasil analisa kajian perbandingan alat yang sudah ada. Dipilihlah pembuatan *collar horn set* menggunakan mesin *multiple-slide*. Penggunaan sistem mesin *multiple-slide* ini bertujuan agar proses menjadi satu langkah pada mesin *multiple-slide*, sehingga akan mempersingkat waktu dan proses, mengurangi hasil NG (*Not Good*), mengurangi biaya listrik, mengurangi biaya perkakas tekan, dan mengurangi biaya operator. Jika menggunakan mesin *stamping* membutuhkan tiga kali proses yang menyebabkan proses yang panjang dan potensi NG (*Not Good*) yang tinggi. Sedangkan menggunakan mesin *multiple-slide* dapat mengurangi hasil NG (*Not Good*) karena hanya membutuhkan satu proses pembuatan.

Cara kerja pembuatan *collar horn set* yaitu :

1. Bermula dengan menyetting *feeder* untuk pemakanan material.
2. Lalu *punch cutting* dan *bending* akan memotong dan membending terlebih dahulu dengan bergerak kebawah dan akan menekuk menjadi profil U.
3. Selanjutnya diikuti *punch bending 1* dan *2* akan menekan secara bersamaan. sehingga plat terbentuk menjadi silinder.
4. Kemudian produk akan dikeluarkan menggunakan *ejector* yang terdapat pada mesin *multiple-slide*.



Gambar 1 Design press tools Collar Horn Set

Tabel 1. Part Perkakas Tekan Collar Horn Set

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.	Material	Keterangan
1	Die Holder	1	S50C	
2	Holder Pin	2	SKD11	HRC 53-55
3	Pin Collar	1	SKD11	HRC 53-55
4	Punch Cutting & Bending	1	SKD11	HRC 58-60
5	Punch Bending 1	1	SKD11	HRC 58-60
6	Punch Bending 2	1	SKD11	HRC 58-60
7	Rel Cutting	1	SKD11	HRC 58-60
8	Cover	1	SKD11	HRC 53-55
9	Pin Ejector	2	STEEL	
10	ISO 4762 M8 x 25 - 25N	3	STEEL	
11	ISO 4762 M6 x 25 - 25N	6	STEEL	
12	ISO 4762 M6 x 10 - 10N	2	STEEL	
13	ISO 4762 M6 x 35 - 35N	1	STEEL	
14	ISO 4762 M6 x 20 - 20N	1	STEEL	

Berdasarkan hasil Analisa, maka dibuatlah alat dengan spesifikasi sebagai berikut :

Model	Mesin <i>multiple-slide</i>
Penggerak	Mekanik
Berat Dies SKD 11	1,568 [kg]
Waktu Proses Pembuatan Produk	4 [detik]
Panjang Dies SKD 11	125 [mm]
Lebar Dies SKD 11	91 [mm]
Lebar Plat SPCC	5.1 [mm]
Kontrol	Tombol ON/OFF

3.6 Perhitungan dan Penentuan Material

- Menentukan gaya potong

Diketahui :

Kuat Tarik (σ_t) : 270 [N/mm²]
Tebal Material (t) : 1 [mm]
Panjang material produk (L) : lebar 5,1 [mm]
Gaya gravitasi : 9.81 [m/s²]
Ditanya : $F_{potong} = \dots\dots ?$ [kg]

Jawab:

$$\begin{aligned} F_{potong} &= S.t. L && \text{[Persamaan 1]} \\ &= 0.7 \times \sigma_t \times t \times L \\ &= (270 \times 0.7) \times 1 \times 5,1 \\ &= 963,9 \text{ [N] atau } 98,257 \text{ [kg]} \end{aligned}$$

- Menentukan gaya Bending:

$$F_{Bending} = \frac{K \times \sigma_t \times w \times t^2}{D}$$

Dimana :
F = Gaya tekuk/pembengkokkan [N] atau [kg]
 σ_t = Kekuatan Tarik logam lembaran [N/mm²]
w = lebar logam lembaran dalam arah sumbu tekuk [mm]
t = tebal logam lembaran [mm]
D = dimensi pembukaan cetakan (*die*), [mm]
K = konstanta gaya tekuk (untuk pembengkokkan-V, $K_{bf} = 1,33$; dan untuk pembengkokkan tepi $K_{bf} = 0,33$)

Diketahui :

$K_{bf} = 1,33$ karena pembengkokkan awal berbentuk U atau V

TS = 270 [N/mm²]

W = 5,1 [mm]

t = 1 [mm]

D = diameter dalam 8,5 [mm]

Ditaya : $F_{Bending} = \dots ?$

Jawab :

$$F_{bending} = \frac{1,33 \times 270 \times 5,1 \times (1)^2}{8,5} \quad \text{[Persamaan 2]}$$

$$= 215,46 [N] \times 3 \text{ kali bending}$$

$$= 646,38 [N] \text{ atau } 64,638 [kg]$$

Penentuan Material

- Penentuan Material didasarkan pada standard material di perusahaan, untuk:
 1. *Collar Horn Set* menggunakan material SPCC.
 2. Untuk komponen-komponen alat yang lain dapat dilihat di Tabel 1.

Tabel 2 *Forming and Other Application*

Application	Hardness HRC
Tools for: Bending, forming, deep drawing, rim-rolling, spinning and flow-forming	56 - 62
Coining dies	56 - 60
Cold extrusion dies, punches	58 - 60 56 - 60
Tube forming rolls, section forming rolls, plain rolls	58 - 62
Dies for moulding of: Ceramics, bricks, tiles, grinding wheels, tablets, abrasive plastics	58 - 62
Thread rolling dies	58 - 62
Cold heading tools	56 - 60
Crushing hammers	56 - 60
Swaging tools	56 - 60
Gauges, measuring tools, guide rails, bushes, sleeves, knurling tools, sandblast nozzles	58 - 62

*Penentuan kekerasan material untuk *punch bending* sebesar 56-62 [HRC].

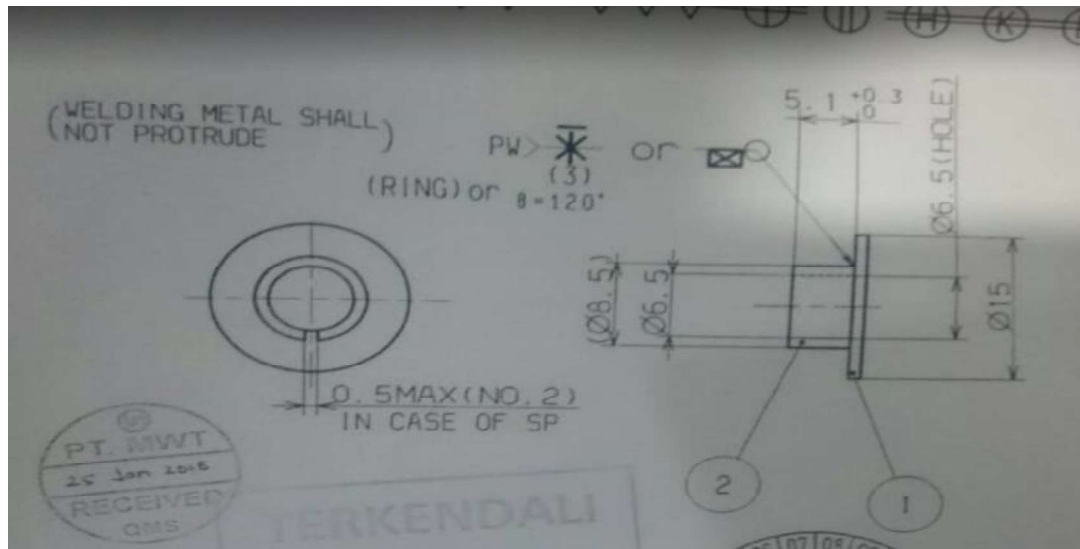
Tabel 3 *Blanking and Cutting*

Application	Work material thickness	Work material hardness (HRC)	
		≤180	>180
Tools for: Blanking, fine blanking, punching, cropping, shearing, trimming, clipping	< 3mm	60 - 62	58 - 60
	3 - 6mm	58 - 60	54 - 56
	6 - 10mm	54 - 56	—
Short cold shears Shredding knives for plastic waste Granulator knives			56 - 60
Circular shears			58 - 60
Clipping, trimming tools for forgings	{ Hot Cold		58 - 60 56 - 58
Wood milling cutters, reamers, broachers			58 - 60

*Penentuan

kekerasan material

untuk *punch cutting* adalah 58-60 [HRC].



Gambar 2 *Drawing Produk*

3.7 Pembuatan Perkakas Tekan

Proses pembuatan perkakas tekan ini melalui beberapa tahapan proses *machining*, yaitu:

- Milling
- Bubut
- Tap
- *Hardening*
- *Grinding Surface*
- *Wire Cut*

3.8 Perakitan

Setelah semua komponen selesai di *machining*, maka perkakas tekan dirakit ke mesin *multiple-slide*.

3.9 Uji

Setelah dilakukan *trial/uji*, maka didapatkan hasil:

1. Untuk membuat 1 *pcs collar horn set* pada mesin *stamping* membutuhkan waktu 25 detik, sedangkan di *metal forming* hanya 4 detik.
2. Pengurangan penggunaan *dies* dari 3 *dies* pada mesin *stamping* menjadi 1 *dies* pada mesin *multiple-slide*.
3. Pengurangan jumlah operator dari 3 operator menjadi 1 operator.

4. KESIMPULAN

Dari data diatas dapat kita simpulkan bahwa pada mesin *stamping* total biaya listrik satu bulan lebih mahal dibandingkan dengan mesin *multiple-slide* dan jumlah produksi lebih sedikit jumlahnya dari pada *multiple-slide*. Lalu berdasarkan desain dan konsep rancangan alat pembuatan *collar horn set* menjadi 1 langkah menggunakan mesin *multiple-slide*, sehingga akan mempersingkat waktu dari 25 detik menjadi 4 detik dan proses dari 3 kali pengerjaan menjadi 1 kali pengerjaan mengurangi hasil NG (Not Good), mengurangi biaya listrik, mengurangi biaya pembuatan perkakas tekan, dan mengurangi biaya operator. Dan dapat diketahui gaya potong yang dibutuhkan sebesar 98,257 [kg] dan gaya tekuk yang dibutuhkan sebesar 64,638 [kg].

5. Ucapan Terimakasih

Dalam proses pembuatan karya tulis ini, penulis telah mendapatkan berbagai bimbingan dan arahan, baik berupa ilmu, informasi, maupun segi administrasi. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Pihak PT. Mada Wikri Tunggal.
2. Bapak Budi Yuwono, S.T sebagai dosen pembimbing.
3. Ibu Ariek Sulistyowati sebagai dosen pembimbing.
4. Ibu Candra Damis Widiawaty, S.TP., M.T sebagai Kepala Proogram Studi Teknik Mesin.
5. Dan semua pihak yang membantu menyelesaikan penelitian.

6. Daftar Pustaka

- [1] Journal of Material, ASSAB XW-42. www.assab.com; 2018.
- [2] J.R. Paquin, Die Design Fundamental, Industrial Press New York, N.Y, May 2012.
- [3] Ohta, Tetsu, Die Structure design, JICA, Nagoya International Training Center, Feb 2013.
- [4] Olaf Diegel, Bend Work, The Fine Art of Sheet Metal, July 2002.
- [5] Teori Pembentukan Bahan, <http://staffnew.uny.ac.id/upload/132304811/pendidikan/4d-handout-teori-pembentukan-bahan.pdf> , (akses 15 Maret 2018).

RANCANG BANGUN KONVEYOR PENDORONG TROLLEY SEBERAT 5 TON

Aulia Indriany¹, Jody Setiawan¹, Mochammad Sholeh²

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425. No Tlp (021) 7270036, Fax (021) 7270036,
auliaindriany@gmail.com, jodysetiawan86@gmail.com

²Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

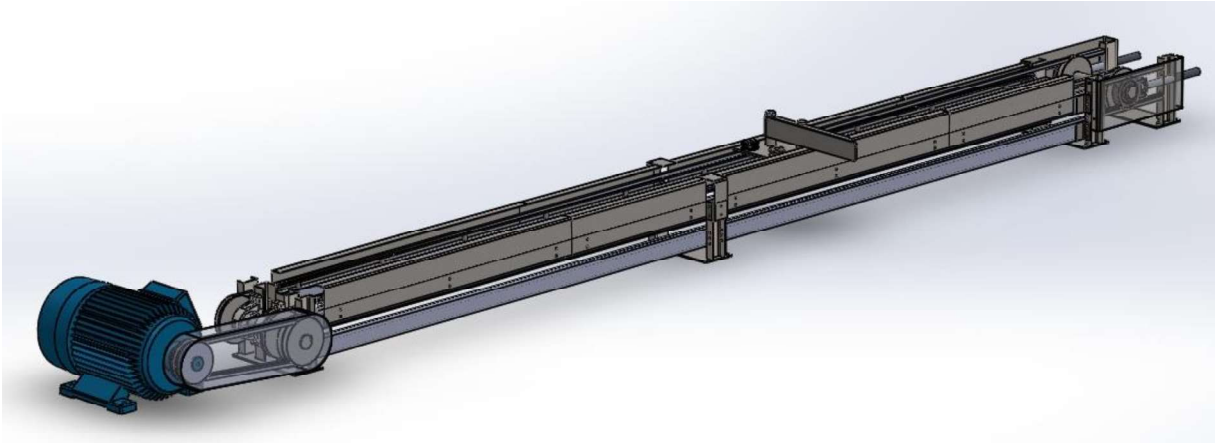
Pada industri manufaktur terdapat berbagai proses produksi yang saling berkaitan antara proses satu dengan yang lainnya. Produk yang dikerjakan harus dipindahkan secara tepat waktu untuk mencapai hasil produksi yang diharapkan. Namun sering ditemukan masalah pada proses pemindahan barang tersebut, karena proses pemindahan barang masih dilakukan secara manual. Berdasarkan permasalahan yang terjadi di PT. X terdapat beberapa hambatan pada proses pemindahan barang dari proses pengecatan menuju proses perakitan yang dilakukan dengan pendorongan trolly secara manual, yaitu membutuhkan 8 orang pekerja dalam 1 shift, waktu pemindahan yang lama mencapai 300 [sekon], dan memiliki resiko kecelakaan kerja yang tinggi. Jarak pemindahan mencapai 45.000 [cm] atau 45 [m] dengan beban maksimal seberat 5 [Ton]. Maka untuk mengurangi jumlah pekerja dan potensi kecelakaan kerja serta mempercepat proses pemindahan barang, diperlukan konveyor yang berfungsi untuk mendorong trolly dari proses pengecatan menuju proses perakitan. Pada pelaksanaannya dilakukan beberapa metode meliputi identifikasi masalah di lapangan, pembuatan konsep desain, analisa dan perhitungan rancangan, fabrikasi dan pengujian alat. Konveyor pendorong tersebut membutuhkan motor listrik dengan daya sebesar 1 [HP] yang dapat menggerakkan konveyor dengan kecepatan 9 [m/menit]. Transmisi yang digunakan berupa rantai dan sprocket yang dipasang pada frame konveyor. Alat bantu pendorong ini dirancang memiliki lengan yang mudah bergerak dan kuat agar dapat mendorong trolly pengangkut barang dan dapat berputar ketika melakukan gerakan kembali agar tidak tertahan oleh trolly yang berada dibelakangnya. Hasil dari rancang bangun ini adalah konveyor pendorong trolly seberat 5 ton yang dapat meningkatkan produktifitas di PT.X dengan proses pemindahan barang yang lebih cepat, aman, dan cukup membutuhkan seorang pekerja dengan bantuan sistem otomasi sederhana.

Kata Kunci: Pemindahan Barang, Alat Pendorong, Trolly, Konveyor

Abstract

The manufacturing industry has some various production processes that are interrelated to each other. The product must be moved on time to get the expected result. But often found the problem in the material handling, it caused by some materials handling process are still manually. Based on the problems that occurred at PT. X there is some problem in the material handling from the painting process area to the assembly process area that done by manually, it's done by 8 workers in 1 shift, requiring long moving time to 300 [second], and have the high risk of a work accident. Moving distance of trolley up to 45.000 [cm] or 45 [m] with the maximum load weight 5 [ton]. So, to reduce the number of worker and the potential of accidents, and to increase the accelerate, required conveyor that serves to push trolley from the painting area to the assembly area and has load up to 5 [ton]. In the implementation, some methods are done by problem identification in the workshop, study literature, create concept design, analysis and design calculation, fabrication and tool testing. The conveyor needs an AC electric motors with 1 [HP] of power that can drive a conveyor at 9 [m / min] of speed. The transmissions used are chains and sprockets that mounted on the conveyor frame. The push tool is designed to have a strong flexible arm to push the carry trolley and rotatable, it will swinging when doing the motion back so it is not to hold back by the trolley behind it. The result of the design is a push conveyor for 5 ton trolley that can increase productivity in PT.X faster, safer and requires only one worker with the help of a simple automation system.

Keywords: Material Handling, Push Tools, Trolley, Conveyor.



Gambar.1 Rancangan Konveyor Pendorong

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan di bidang manufaktur semakin ketat dan kompetitif setiap tahunnya, hal itu menyebabkan industri harus terus melakukan inovasi di setiap bagian untuk meningkatkan kualitas dan memenuhi keinginan konsumen. Sebagai usaha untuk meningkatkan kualitas tersebut dapat dilakukan beberapa bentuk *improvement* seperti meningkatkan kemampuan pekerja, meningkatkan kinerja mesin, membuat alat bantu produksi dan mengubah prosedur atau cara dari proses produksi.

Salah satu penerapan *improvement* di PT. X yang bergerak pada bidang manufaktur komponen alat berat adalah membuat rancang bangun sebuah alat untuk proses transportasi troli. Troli adalah alat pengangkut komponen alat berat yang bergerak dengan 4 roda, hanya saja untuk pergerakannya troli tersebut masih membutuhkan bantuan dorongan manual dari pekerja. Rancangan yang akan dibuat ialah berupa alat pendorong troli yang dapat menggantikan proses pendorongan manual troli. Alat ini akan diletakkan pada proses pengembalian troli dari area pengecatan (*painting*) kembali menuju ke area perakitan (*assembly*).

Proses pemindahan troli yang dilakukan secara terus-menerus dengan cara pendorongan manual sangat beresiko, karena beban sebuah troli kosong mencapai 500 [kg] dan beban muatan mencapai 750 [kg]. Selain itu, untuk menghindari antrian troli dilakukan pendorongan yang terdiri dari empat troli yang didorong secara bersamaan. Total maksimal beban yang didorong dapat mencapai 5 [Ton] yang didorong oleh 8 pekerja sekaligus. Waktu kerja untuk pendorongan troli dalam sehari ialah 8 jam/shift. Proses pendorongan manual ini mengharuskan pekerja mendorong troli sejauh 45 [m] menuju area *assembly*, lalu pekerja harus berjalan kembali untuk mengambil lagi troli selanjutnya di area *painting* dan terus berulang. Gerakan pekerja untuk mengambil kembali troli ke area *painting* merupakan gerakan *Non Value Added* yang menyebabkan terjadinya *unavoidable delay* atau keterlambatan yang tidak bisa dihindari.

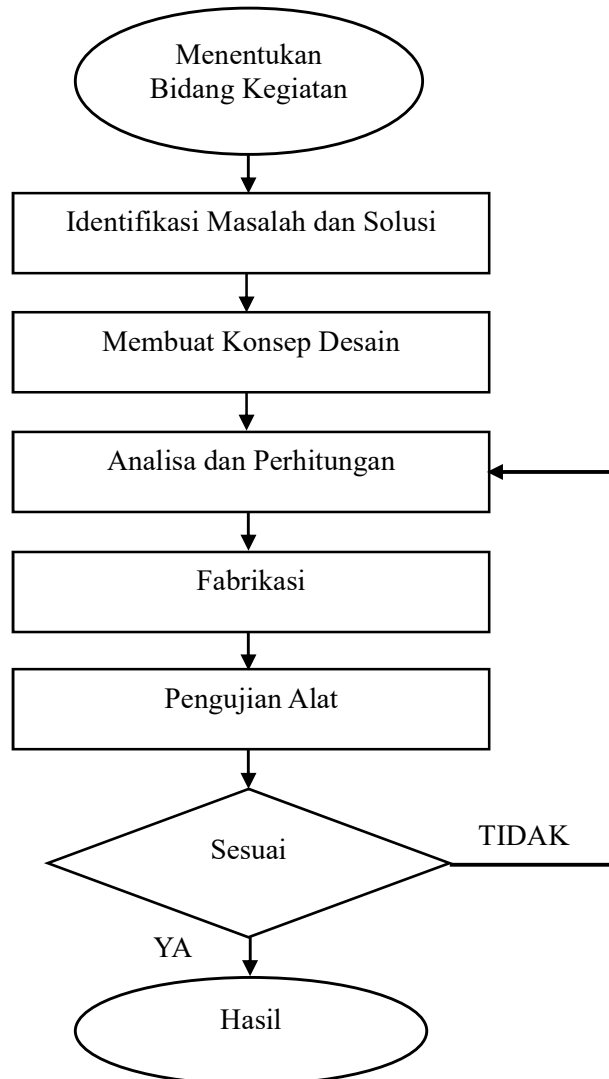
Area kosong yang dapat dimanfaatkan untuk membuat alat sangat terbatas, yaitu memiliki lebar 90 [cm] dan PT. X menghindari dibuatnya alat pendorong yang mengharuskan dilakukannya pembongkaran lantai seperti pada alat yang pernah dibuat oleh Lbm Maschinen Und Anlagenbau GmbH [1]. Selain memerlukan biaya yang tinggi, pembongkaran lantai memerlukan pengerjaan yang lama sehingga akan menghambat produksi yang saat ini bekerja. Konveyor juga tidak bisa dibuat datar atau berbentuk konveyor dengan slat pendorong [2], umumnya konveyor jenis ini digunakan untuk memindahkan objek berbentuk makanan atau benda padat yang diletakkan diatas slat konveyor dan didorong oleh pendorong yang berbentuk seperti sekat yang berada diantara slat. Konveyor yang saat ini dibutuhkan akan digunakan untuk menggerakkan troli beroda, sehingga dibutuhkan bagian pendorong yang akan menggerakkan troli.

Oleh karena itu dibuatlah *improvement* berupa rancang bangun konveyor pendorong *trolley* untuk memenuhi kebutuhan produksi dan meringankan pekerjaan pekerja.

1.2 Tujuan

Tujuan rancang bangun konveyor pendorong ini adalah untuk membantu mengurangi beban dorong pekerja yang harus mendorong beban maksimal seberat 5 [Ton]. Sehingga proses dorong manual dapat digantikan dengan menggunakan konveyor *chain* yang sesuai. Tujuan lain dari alat ini adalah untuk meningkatkan faktor keselamatan pekerja dan mengurangi jumlah *man power* yang dibutuhkan dalam proses dorong troli.

2. METODE PENELITIAN



Gambar.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan tema atau bidang kegiatan yang akan dilakukan, yaitu bagaimana merancang dan membangun konveyor pendorong troli. Selanjutnya identifikasi masalah yang terjadi, berdasarkan masalah yang ditemukan di PT. X, konveyor pendorong yang akan dirancang bangun harus memenuhi kriteria seperti mengurangi beban pekerja, mengganti proses dorong manual menjadi pendorongan otomatis dan menghindari terjadinya kecelakaan kerja.

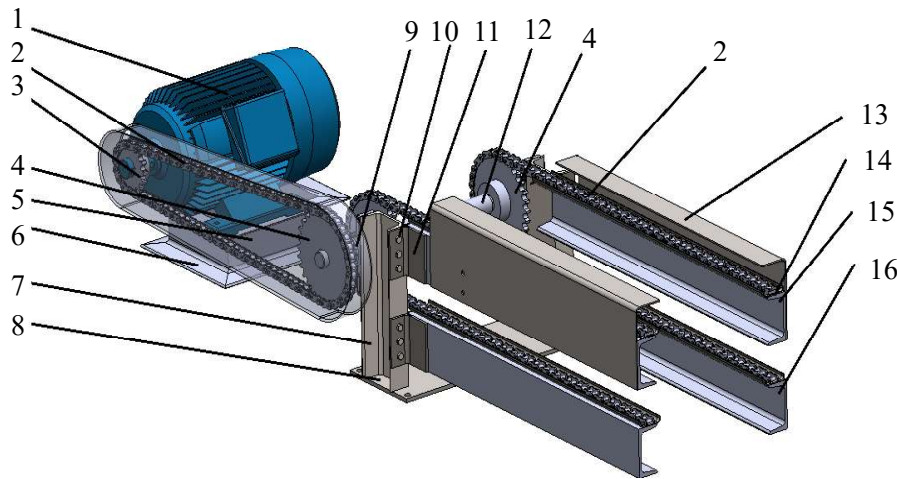
Langkah selanjutnya yang dilakukan ialah menentukan konsep desain yang akan dibuat. Penentuan konsep ini dilakukan dengan membuat 3 konsep alternatif yang memiliki kelebihan masing-masing, diantaranya memiliki struktur frame yang kokoh, memiliki adjuster, dan memiliki desain yang sederhana. Konsep rancangan yang dipilih disesuaikan dengan kriteria yang dibutuhkan oleh PT. X, dan mempertimbangkan ketersediaan komponen di *workshop*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Rancangan Alat

Rancangan Konveyor Pendorong dirancang berdasarkan kebutuhan seperti mengurangi beban pekerja, mengganti proses dorong manual menjadi pendorongan otomatis dan menghindari terjadinya kecelakaan kerja. Desain rancangan konveyor pendorong ini terdiri dari 4 bagian utama, yaitu *driver modul*, *intermediate*, lengan pendorong dan *driven modul* dengan total 8 *frames* yang rinciannya adalah sebagai berikut :

3.1.1. Driver Modul



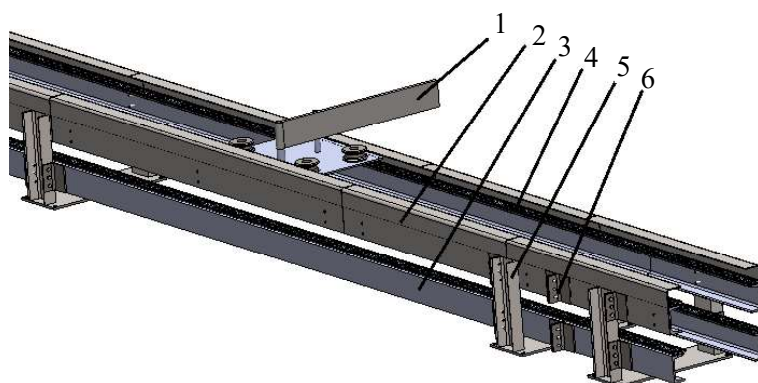
Keterangan :

1. Motor
2. Rantai
3. Sprocket Motor
4. Sprocket Konveyor
5. Cover Rantai
6. Base Plate Motor
7. Frame Konveyor
8. Base Plate Konveyor
9. Bearing UCP
10. Baut
11. Support Plate
12. Poros
13. Cover Konveyor
14. Teflon
15. Rel Rantai Atas
16. Rel Rantai Bawah

Gambar.3 Gambar Detail *Driver Modul*

Driver Modul seperti terlihat pada Gambar.3 ini berfungsi sebagai penggerak conveyor dan ditopang oleh satu bagian *frame* tunggal. Poros yang ada pada *driver modul* digerakkan oleh *chain* yang langsung terhubung dengan motor listrik dan selanjutnya *sprocket* akan ikut berputar dan menggerakkan dua *chain* lainnya.

3.1.2. Intermediate



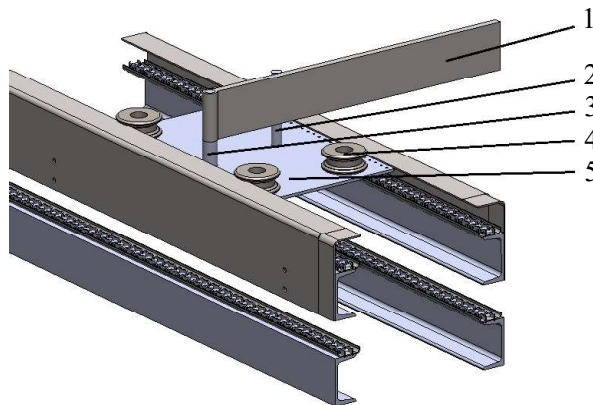
Keterangan :

1. Lengan Pendorong
2. Cover Konveyor
3. Peyangga Rantai Bawah
4. Rantai
5. Frame Konveyor
6. Support Plate

Gambar.4 Gambar Detail *Intermediate Modul*

Intermediate modul seperti terlihat pada Gambar.4 ini terdiri atas 6 buah frames yang disusun secara teratur dan menghubungkan frame *driver modul* dan *driven modul* serta berfungsi sebagai bagian penerus conveyor sebagai jalur pendorongan trolley dari *driven modul* menuju *driver modul*.

3.1.3. Push Arm



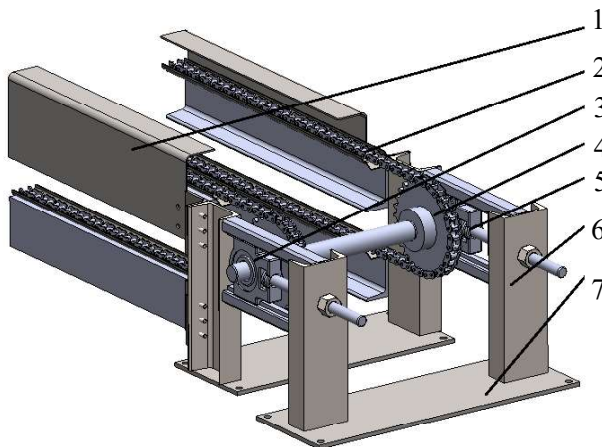
Keterangan :

1. Lengan Pendorong
2. Penahan Lengan Pendorong
3. Pin Penyangga Lengan Pendorong
4. Roller
5. Base Plate

Gambar.5 Gambar Detail Push Arm

Seperti terlihat pada Gambar.5, lengan pendorong atau *Push Arm* terdiri dari *base plae arm*, lengan konveyor, batang penahan lengan konveyor (*stoper shaft arm*) dan *roller*. Push arm berfungsi sebagai media pendorong troli yang dimensinya disesuaikan dengan beban maksimal yang akan didorong, yaitu seberat 5 [Ton]. *Base plate* pada *push arm* dihubungkan oleh *attachment* pada rantai konveyor, sehingga *push arm* akan ikut bergerak ketika *driver modul* sudah mulai bergerak.

3.1.4. Driven Modul



Keterangan :

1. Cover Konveyor
2. Rantai
3. Bearing Take Up Screw
4. Sprocket
5. Adjuster
6. Frame Konveyor
7. Base Plate Konveyor

Gambar.6 Gambar Detail Driven Modul

Driven modul seperti terlihat pada Gambar.6 berfungsi sebagai bagian yang digerakkan oleh *driver modul* dan ditopang oleh satu bagian *frame* tunggal. Pada *driven modul* ini terdapat sebuah poros lengkap dengan *sprocket*-nya untuk mengarahkan *roller* dan *chain* agar berputar sesuai dengan gerakan dari *driver modul*. Bagian ini merupakan bagian terakhir pergerakan lengan pendorong, dengan bantuan sensor pada bagian automasi konveyor akan berjalan mundur untuk menjemput kembali troli yang ada di belakang.

3.2. Prinsip Kerja Alat

Konveyor yang akan dirancang merupakan alat bantu dorong dalam proses pemindahan troli yang harus bergerak sejauh 45 [m] dengan beban maksimal seberat 5 [ton]. Jenis conveyor yang dirancang adalah menggunakan *shuttle traction* yang berfungsi sebagai penopang lengan pendorong dan menggunakan rantai sebagai transmisi pemindah gaya dari *sprocket* untuk menggerakkan lengan pendorong yang terdapat pada *base plate* sehingga *troli* bisa dipindahkan.

3.3. Hasil Pengujian

3.3.1. Hasil Perhitungan

3.3.1.1. Beban Pada Lengan Pendorong

Beban yang harus didorong oleh lengan terdiri dari berat troli dan beban muatan troli tersebut. Jika beban satu rangkaian troli mencapai 500 [kg] dan beban muatannya 750 [kg], maka beban untuk satu rangkaian troli terdapat 1.250 [kg], sehingga untuk beban maksimal yaitu 5 [ton] lengan dapat mendorong 4 rangkaian troli dalam satu kali pendorongan. Troli ini dilengkapi oleh 4 roda penggerak yang bergerak diatas rel khusus untuk memudahkan proses pemindahan troli. Oleh karena itu, beban yang diterima oleh lengan tidak akan mencapai 5 [ton] atau 5.000 [kg]. Berikut analisis beban yang diterima oleh tiap roda troli.

$$W = m \times g \quad [3] \quad \text{[Persamaan.1]}$$

$$W = 1.250 [kg] \times 9,81 [m/s^2]$$

$$W = 12.262,5 [N]$$

Maka, gaya reaksi pada roda adalah

$$R_{roda} = \frac{W}{n} \quad \text{[Persamaan.2]}$$

$$R_{roda} = \frac{12.262,5 [N]}{4}$$

$$R_{roda} = 3.065,625 [N]$$

Mencari moment torsi yang terjadi pada roda.

$$M_t = F \left(f + \mu_r \times \frac{d}{2} \right) \quad [4] \quad \text{[Persamaan.3]}$$

$$M_t = 3.065,625 \left(0,5 + 0,002 \times \frac{50}{2} \right)$$

$$M_t = 1.686,0937 [Nmm]$$

Berat beban pada satu roda.

$$M_t = W \times \frac{D}{2} \quad [4] \quad \text{[Persamaan.4]}$$

$$1.686,0937 [Nmm] = W \times \frac{200 [mm]}{2}$$

$$W = \frac{1.686,09375 [Nmm] \times 2}{200 [mm]}$$

$$W = 16,8609 [N] \approx 1,7187 [kg]$$

Maka, beban total yang diterima oleh lengan.

$$W_{total} = 16,8609 [N] \times 16 \text{ roda} \quad \text{[Persamaan.5]}$$

$$W_{total} = 269,7744 [N] \approx 27,4999 [kg]$$

Beban dibulatkan menjadi 30 [kg].

3.3.1.2. Analisis Kebutuhan Daya

Analisis terhadap rancangan alat dilakukan dengan menggunakan data kebutuhan yaitu untuk mendorong trolis seberat **30 [kg]** dan dimulai dari perhitungan terhadap jumlah beban yang akan ditanggung oleh daya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 W_{total} &= W_{Rantai} + W_{Arm} + W_{muatan} && \text{[Persamaan.6]} \\
 W_{total} &= 276,2759 \text{ [kg]} + 35 \text{ [kg]} + 30 \text{ [kg]} \\
 W_{total} &= 341,2759 \text{ [kg]}
 \end{aligned}$$

Maka, dapat dihitung besar daya aktual.

$$\begin{aligned}
 P_{Aktual} &= W \times v && \text{[Persamaan.7]} \\
 P_{Aktual} &= 341,2759 \text{ [kg]} \times 9,81 \text{ [m/s]} \times 0,15 \text{ [m/s]} \\
 P_{Aktual} &= 502,1875 \text{ [watt]}
 \end{aligned}$$

Pada kenyataannya daya aktual tidak dapat kita gunakan sebagai referensi untuk menentukan daya karena terdapat beberapa hal yang dapat menambah beban pada daya, seperti gesekan antara rantai dengan teflon, gesekan rantai dengan sprocket, dan beban yang dipengaruhi oleh $\cos \phi$ motor. Oleh karena itu, dihitung daya efektif yang dibutuhkan dari motor.

$$\begin{aligned}
 P_{Efektif} &= \frac{P_{Aktual}}{(\eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3) \cos \phi} \times f_c && \text{[Persamaan.8]} \\
 P_{Efektif} &= \frac{502,1875 \text{ [watt]}}{(80\% \times 85\% \times 80\%) 85,5\%} \times 1,3 \\
 P_{Efektif} &= 701,8014 \text{ [watt]}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh bahwa daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan konveyor adalah sebesar 701,8014 [watt] atau setara dengan 0,9538 [HP].

3.3.1.3. Analisa Bearing

Bearing yang digunakan pada rancangan conveyor ini berjumlah 4 (empat) buah, masing-masing 2 (dua) buah pada *driver modul* dan *driven modul*. Jenis *bearing* yang digunakan yaitu *Pillow block bearing* dan *take-up screw bearing* [5]. *Pillow block bearing* digunakan pada bagian *driver modul* karena posisi poros pada *driver modul* tetap, sedangkan *take-up screw bearing* digunakan pada *driven modul* karena posisi poros pada *driver modul* dapat berubah untuk mengatur kekencangan dan kendur pada rantai. Umur setiap *bearing* perlu dihitung agar diketahui spesifikasi maksimum yang dapat dihasilkan *bearing* pada rancangan.

Untuk mengetahui umur *bearing*, dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan.9 dan Persamaan.10 seperti berikut.

$$\begin{aligned}
 F_e &= (X_R \cdot V \cdot F_R + Y_A \cdot F_A) K_s [6] && \text{[Persamaan.9]} \\
 F_e &= (0,6 \times 1 \times 300,6657 \text{ [N]} + 0,5 \times 0) \times 1,5 \\
 F_e &= 270,5840 \text{ [N]}
 \end{aligned}$$

$$L = \frac{10^6 \cdot C^3}{60 \cdot n \cdot F_e^3} [G] \quad \text{[Persamaan.10]}$$

$$L = \frac{10^6 \times 25.500 [N]^3}{60 \times 32 [rpm] \times 270,5840 [N]^3}$$

$$L = 435.926.203 [jam]$$

Maka, diketahui bahwa *bearing* yang digunakan dapat bekerja selama 435.926.203 [jam].

3.4. Pengujian *Trial and Error*

Selanjutnya dilakukan pengujian untuk rancangan yang bertujuan untuk mengetahui kinerja dan kekuatan rancangan konveyor. Pengujian tersebut dilakukan dengan metode *Trial and Error* seperti berikut :

Tabel.1 Pengujian Kekuatan Lengan dengan pelat 4.5 [mm]

No	Trial	Percobaan										Keterangan	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	Trial 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	Pada awal pendorongan, terjadi lendutan pada lengan. Namun setelah pengujian selesai, bentuk lengan tidak berubah (tetap lurus).
2	Trial 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	Pada awal pendorongan, terjadi lendutan pada lengan. Namun setelah pengujian selesai, bentuk lengan tidak berubah (tetap lurus).
3	Trial 3	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	Pada awal pendorongan, terjadi lendutan pada lengan. Setelah pengujian selesai, bentuk lengan mulai berubah membentuk bengkokan sekitar 1°.
4	Trial 4	√	√	x	x	x	x	x	x	x	x	x	setelah pengujian ke-2, terjadi kesalahan teknis sehingga pengujian dihentikan.
5	Trial 5	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	Lengan diganti oleh bahan yang lebih aman. Tidak terjadi lendutan pada lengan, dan setelah pengujian selesai bentuk lengan tidak berubah (tetap lurus).

Keterangan : √ = Pengujian berjalan dengan baik
 x = Pengujian gagal

Pada pengujian tersebut terlihat mulai terjadi perubahan kondisi lengan pendorong pada Trial 3, yaitu lengan pendorong mengalami sedikit pembengkokan. Selanjutnya terjadi kegagalan uji pada pelaksanaan *Trial 4* di percobaan ke 3. Kegagalan tersebut disebabkan karena tidak berfungsinya sensor yang menghentikan gerakan motor, sehingga konveyor tetap mendorong troli dan menyebabkan lengan pendorong bengkok. Penggunaan material yang jauh dari kondisi aman juga mengakibatkan lengan mengalami pembengkokan. Kejadian tersebut menunjukkan bahwa walaupun pada Trial 1 dan 2 lengan pendorong masih dalam kondisi yang baik, namun jika lengan pendorong terus menerus digunakan dan terjadi kenaikan beban pada lengan pendorong maka pembengkokan lengan pasti dapat terjadi. Oleh karena itu, dipilih ketebalan lengan pendorong sesuai dengan hasil perhitungan yang lebih aman.

4. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari rancang bangun konveyor ini adalah sebagai berikut :

1. Beban yang diterima oleh lengan pendorong dari beban maksimal 5 [ton] ternyata mencapai 30 [kg], dan daya yang dibutuhkan untuk mendorong troli ialah sebesar 1 [Hp]
2. Konveyor yang dibutuhkan untuk mendorong troli memiliki rantai dengan tipe RS60

3. Pekerja yang dibutuhkan untuk menjalankan konveyor berjumlah 1 orang untuk mengatur dan mengawasi jalannya konveyor.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. M. U. A. Gmbh, "Conveying Device with a Substantially Horizontal Conveyor Track". German Patent DE102012010089, 2015.
- [2] W. Peter J. Ensich and M. b. o. W. Dennis A. Woyach, "CONVEYOR CHAIN FOR CARRYING OBJECTS". 1995.
- [3] L. K. J.L. Meriam, *Mekanika Teknik, Statika*, 2 ed., vol. 1, Jakarta: Erlangga, 1987.
- [4] I. D. & E. A. (IDEA), "Crane Wheel," in *DIN 15070*, 2010, p. 11.
- [5] Tsubaki, *The Complete Guide to Chain*, Japan: Sachio Shimura, 1997.
- [6] J. G. R.. Khurmi, *A Text Book of Machine Design*, New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD, 2005.

RANCANG BANGUN SISTEM OTOMATISASI PADA MESIN VACUUM FORMING

Heneng Sukmo Manembah¹, Sonki Prasetya²

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425. No Tlp (021) 7270036, Fax (021) 7270036,
henengs@gmail.com

²Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

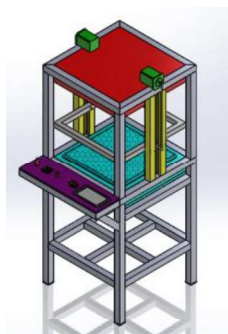
Pengemasan merupakan bagian penting, tanpa pengemasan yang tepat, ketahanan, higienitas, dan estetika dari produk makanan dapat mempengaruhi kepercayaan konsumen terhadap industri tersebut. Adapun industri kecil akan kesulitan jika ingin membuat kemasan dengan bentuk yang disesuaikan dengan keanekaragaman produknya. Pembuatan kemasan manual juga berdampak pada hasil dan efektivitas dari pekerja sementara pemesanan kemasan pada perusahaan plastik memerlukan jumlah dan biaya besar. Penelitian bertujuan untuk desain mesin cetak kemasan dengan teknologi Vacuum Forming semi otomatis untuk skala UKM agar dapat membuat kemasan sendiri. Fokus ditujukan untuk desain sistem kontrol pada mesin Vacuum Forming yang diterapkan untuk pengendalian pemanas, sistem pemvakuman, dan sistem penggerakannya. Sistem kontrol yang digunakan berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 dengan input sensor temperatur dan output berupa sistem penggerak untuk memindahkan posisi lembaran plastik. Sistem penggerak memindahkan plastik yang dipanaskan menuju pemanas, setelah temperatur yang dicapai sesuai dengan temperatur yang sudah diatur, penggerak memindahkan lembaran plastik ke vacuum chamber. Mesin vacuum menyala secara otomatis untuk membentuk plastik sesuai dengan mold yang sudah diletakkan pada vacuum chamber. Dengan analisis dan pengujian yang dilakukan, didapatkan pengendalian sistem yang efektif dan memaksimalkan kinerja dari mesin tersebut. Hasil desain yang diperoleh diantaranya: (1) hasil pengujian sistem kontrol set-point pada mesin Vacuum Forming dan sistem yang digunakan adalah sistem on-off dengan power switching apabila heater yang digunakan lebih dari 1, (2) aktuator penggerak yang digunakan yaitu motor stepper karena memiliki lebih banyak kelebihan berdasarkan 5 indikator penentuan aktuator, dan (3) waktu yang dibutuhkan motor stepper untuk mengangkat adalah 6,61 s.

Kata Kunci: Sistem Kontrol, UKM, Vacuum Forming, Arduino Mega 2560

Abstract

Packaging is the most important things according the food industries. Without a good packaging consumers will not trust with its higienity and esthetic side from the products. Manufacturing the packaging by themselves also have good effect to mid-small industry especially in working effectivity. The point in this research is to build vacuum forming machine using otomation system. Main focus in this research are control system can controlled the heating system, vacuum system, and motion system. Software that used in this research is Arduino Mega 2560 with temperature sensor to control the temperature and limit switch for motion control. Motion system will move the plastic to heating system, after a few minutes motion system will get down the plastic to mold in vacuum chamber. Vacuum chamber will turned on to decrease the pressure in vacuum chamber, so the plastic will press the mold and we have the plastic result is like the modl that used to form the plastic. The result form this design are: (1) the result formse-point testing used ini Vacuum Forming machine with on-off control using power switching methods if using more than 1 heater. (2) motion system using motor stepper. (3) Motor stepper motion time are 6,61 s.

Keywords: Control System, Vacuum Forming, Arduino Mega 2560.



Gambar.1 Desain Mesin Vacuum Forming

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik adalah bahan yang banyak digunakan dalam industri kemasan. Plastik digunakan sebagai kemasan untuk makanan dan minuman karena struktur dari plastik yang lembut, transparan, memiliki harga yang murah dan sifat mekanis yang bagus [1]. Peningkatan industri makanan dan minuman juga berpengaruh pada penggunaan plastik yang semakin banyak. Data peningkatan tersebut diperoleh dari Kementerian Perindustrian, bahwa pertumbuhan industri plastik sejak 2016 meningkat hingga 9% dibandingkan tahun sebelumnya [2]. Satu diantara proses pengolahannya adalah dengan metode *Vacuum Forming*. Prinsip kerja dari mesin tersebut yaitu lembaran plastik yang sudah dibentangkan diletakkan dibawah elemen pemanas diatas vacuum chamber, lembaran plastik yang sudah dipanaskan diletakkan diatas molding dan tekanannya dikurangi untuk membantu pembentukan material yang lebih baik [3].

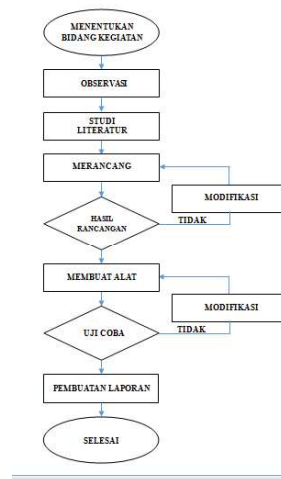
Mesin *Vacuum Forming* sudah banyak digunakan pada industri skala besar yang difungsikan untuk membuat kemasan makanan, mainan, dan minuman. Harga mesin *vacuum forming* ini yaitu Rp. 10.000.000,- hingga Rp. 25.000.000,-. Harga mesin yang cukup tinggi tersebut tentunya kurang ekonomis bagi industri UKM yang hanya berskala kecil, Mesin tersebut juga dapat digunakan sebagai penunjang praktek mata kuliah Mold and Dies di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ).

Desain mesin *Vacuum Forming* yang akan dibangun akan lebih sederhana dibandingkan alat sebelumnya dan sudah dilengkapi dengan sistem kontrol semi otomatis agar dihasilkan mesin yang ekonomis dan lebih efisien untuk industri UKM dan kegiatan praktek mata kuliah Mold and Dies di Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Tujuan

Tujuan desain adalah untuk penentuan komponen pemanas, penggerak, serta pengendalian yang optimal agar dapat digunakan untuk membangun mesin pencetak plastik dengan metode *vacuum forming* semi otomatis pada aplikasi industri UKM dalam mencetak plastik sesuai dengan ukuran dan bentuk yang diinginkan.

2. METODE PENELITIAN



Gambar.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Gambar 2 menunjukkan alur proses desain. Hal pertama yang dilakukan yaitu mencari ide tentang desain yang dilakukan. Tahapan berikutnya yaitu mencari data mengenai kebutuhan konsumen terhadap mesin tersebut sehingga dapat disesuaikan spesifikasi yang kemudian diterapkan pada mesin tersebut. Studi literatur adalah tahapan mencari teori pendukung sebagai dasar utama untuk membangun mesin tersebut, kemudian dilakukan dengan tahapan desain mesin sesuai dengan studi literatur dan hasil observasi mengenai mesin tersebut. Hasil desain dimodifikasi jika dirasa hasilnya tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan, jika hasil desain sesuai, maka dilakukan proses pembuatan alat dan diuji coba, jika hasil uji coba tidak sesuai, dilakukan modifikasi.

2.1 Menentukan Tema

Hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan tema dari desain yang dibuat, karena tema mewakili pemikiran utama bentuk desain yang dibuat, dalam desain ini tema yang akan diangkat adalah desain sistem otomatisasi pada mesin *Vacuum Forming*.

2.2 Identifikasi Masalah Dan Solusi

Berdasarkan masalah yang ada, alat yang akan didesain sebaiknya memenuhi beberapa kriteria:

- Menggunakan daya yang lebih rendah dibandingkan mesin yang sudah ada
- Membuat mesin yang lebih murah, dan
- Sistem otomatisasi yang digunakan dapat mempermudah pengguna mesin

2.3 Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk memahami konsep dan teori mengenai sistem otomatisasi. Proses kendali menggunakan software Arduino sehingga temperatur dapat dijaga pada *set-point* tertentu. Studi juga meliputi penggunaan motor servo sebagai penggerak pada mesin *vacuum forming* dan pengontrolan sistem vakum.

2.4 Membuat Konsep Desain

Pembuatan konsep desain dilakukan dengan mempertimbangkan tema, identifikasi masalah dan solusi, serta studi literatur yang telah dilakukan agar konsep sesuai dalam pembentukan desain. Desain alat yang akan dibuat disesuaikan dengan tema, serta mampu mencapai kualifikasi yang dibutuhkan oleh industri UKM, dengan mempertimbangkan dan membandingkan alat-alat yang sudah ada, kemudian ditentukan desain alat yang paling sesuai.

2.5 Analisis Desain Dan Proses Fabrikasi

Setelah pematangan konsep desain selanjutnya dilakukan analisis, dimulai dengan meninjau kebutuhan serta keinginan pelanggan mengenai desain alat, analisis yang dilakukan diutamakan pada analisis mengenai penggunaan sistem kontrol dan analisis mengenai kapasitas motor servo yang akan digunakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Data Kebutuhan dan Hasil Observasi Lapangan

Data kebutuhan diperoleh dari konsep desain yang telah disesuaikan dengan keinginan pelanggan agar dapat menyelesaikan permasalahan yang terjadi dilapangan. Data rinci dari kebutuhan tersebut dapat dilihat pada Tabel.1:

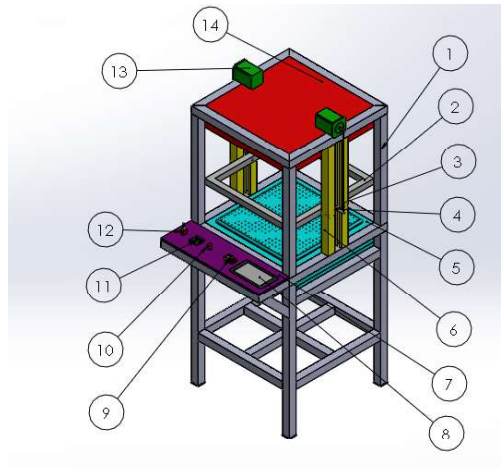
Tabel.1 Data Kebutuhan Desain Konveyor

No	Jenis Data	Keterangan
1.	Jenis Mesin	<i>Mesin Vacuum Forming</i>
2.	Posisi Kerja Mesin	Vertikal
3.	Kegunaan	Mencetak plastik
4.	Dimensi Mesin (PxLxT)	584 x 760 x 1495 [mm]
5.	Sistem Kontrol	Arduino
6.	Sistem Penggerak	Motor Stepper
7.	Struktur Rangka	Besi Hollow 35x35x1.5 [mm]

3.1 Prinsip Kerja Alat

Mesin *vacuum forming* yang didesain merupakan alat untuk mencetak plastik. Sistem otomatisasi yang didesain dalam mesin tersebut harus mampu mempermudah sistem pengoprasian alat. Mesin tersebut didesain agar mampu memanaskan, menggerakkan plastik mendekat dan menjauhi heater serta mampu mencetak plastik dengan gaya vakum yang diberikan sehingga terwujud produk yang sesuai dengan cetakan yang ada.

3.2. Rancangan Alat



Gambar.3 Gambar Detail Desain Mesin *Vacuum Forming*

Gambar. 3 menunjukkan mesin *vacuum forming* yang dibangun. Mesin ini terdiri dari sistem pemanas yang ditunjukkan pada nomor 14, sistem pemvakuman ditunjukkan dengan nomor 5, dan sistem penggerak ditunjukkan pada nomor 13. Clamp yaitu part nomor 2 akan diangkat menggunakan aktuator gerak motor stepper nomor 13 yang mengangkat plastik hingga menuju sistem pemanas, setelah beberapa menit sistem gerak akan membawa plastik turun ke arah *vacuum chamber* nomor 5, dan sistem vakum akan aktif untuk membentuk plastik sesuai dengan cetakan. Desain Mesin *vacuum forming* ini terdiri dari 4 bagian utama, yaitu sistem otomatisasi, sistem pemanas, sistem pemvakuman, dan sistem penggerak.

Deskripsi 4 bagian utama dalam desain Mesin *Vacuum Forming*

3.3.1. Sistem Otomatisasi

Sistem otomatisasi ini berfungsi sebagai pengambil keputusan pada sistem yang bekerja pada mesin *Vacuum Forming*. Desain tersebut menerapkan sistem otomatisasi yang memanfaatkan perangkat lunak *Arduino* sebagai pengambil keputusan pada mesin *vacuum forming*. Perangkat lunak tersebut juga dilengkapi dengan bantuan beberapa sensor yaitu sensor temperatur LM-35 dan sensor jarak yang berfungsi untuk mengatur motor listrik akan menyala atau mati.

3.3.2. Sistem Pemanas

Sistem pemanas menggunakan elemen kawat pemanas dengan spesifikasi 150 watt/220v yang berbentuk kawat spiral yang disambungkan dalam kotak *heater* dan berfungsi untuk menaikkan temperatur plastik hingga plastik sampai pada temperatur plastis dan dapat dibentuk.

3.3.3. Sistem Vakum

Sistem vakum berfungsi untuk menurunkan tekanan yang terdapat pada *vacuum chamber* sehingga plastik dapat dibentuk saat diletakkan cetakan dibawah dari permukaan plastik yang sudah dipanaskan menggunakan heater.

3.3.4. Sistem Penggerak

Sistem penggerak memanfaatkan motor listrik yaitu motor stepper dengan kapasitas 7.2 Volt, 1 Ampere untuk mengangkat beban clamp yang memiliki massa 3 kg dengan ketinggian 50 cm.

3.3. Analisis Rancangan Alat

3.3.1. Analisis Pengujian Sistem Kontrol Set-Point

Sistem pemanas membutuhkan pengendalian agar temperatur yang dihasilkan heater tidak menyimpang terlalu jauh dari range temperatur yang diijinkan. Temperatur pada sistem pemanas dikontrol menggunakan sensor temperatur LM-35 yang mengindikasikan kerataan temperatur pada *clamp* dan pada sistem pemanas.

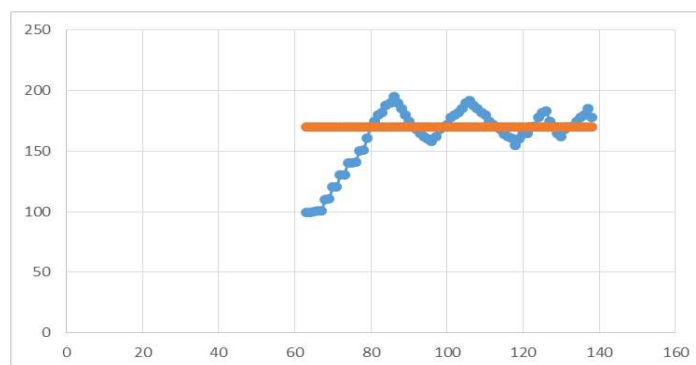
Tabel. 3 Data Temperatur Plastik [4]

Material	Glass Transition Temperature [°C (°F)]	Melting Temperature [°C (°F)]
Polyethylene (low density)	-110 (-165)	115 (240)
Polytetrafluoroethylene	-97 (-140)	327 (620)
Polyethylene (high density)	-90 (-130)	137 (279)
Polypropylene	-18 (0)	175 (347)
Nylon 6,6	57 (135)	265 (510)
Poly(ethylene terephthalate) (PET)	69 (155)	265 (510)
Poly(vinyl chloride)	87 (190)	212 (415)
Polystyrene	100 (212)	240 (465)
Polycarbonate	150 (300)	265 (510)

Berdasarkan data pada tabel 3 maka dapat dilihat bahwa plastik *polysterene* memiliki rentang temperatur dari 100°C hingga 240°C. Berdasarkan data pada tabel maka dapat disimpulkan bahwa rentang temperaturnya mencapai 140°C.

Uji coba *set-point* yang dilakukan diatur pada temperatur diatas 140°C maka sistem pemanas akan mati secara otomatis dan dibawah temperatur 140°C sistem pemanas akan menyala. Berikut coding pemrograman untuk uji coba *set-point*

Dari hasil pengujian *set-point* maka didapatkan grafik sebagaimana 4 berikut:



Gambar 4 Pengujian Set-Point

Berdasarkan hasil pengujian yang terdapat pada Grafik. 2, *set-point* diatur pada temperatur 170 °C, dapat dilihat bahwa simpangan terjauh dari *set-point* berada pada 30 °C, dan simpangan terendah dari *set-point* berada pada 20 °C maka dapat disimpulkan bahwa sistem *set-point* yang digunakan dapat memenuhi syarat untuk diterapkan pada desain.

Adapun kebutuhan pemanas disesuaikan dengan kerangka mesin yang didesain agar distribusi panasnya dapat merata sesuai dengan kebutuhan dalam memanaskan sheet polysterene. Jika jumlahnya lebih dari 1, maka tentunya kebutuhan dayanya lebih besar. Untuk penghematan penggunaan daya maka dilakukan metode *power switching* atau mengkondisikan pengaktifan elemen pemanas secara bergantian.

3.4.2. Analisis Motor Listrik

Pemilihan penggunaan sistem penggerak memiliki beberapa pertimbangan sebagaimana Tabel 4:

Tabel. 4 Perbandingan Penggerak

No	Segi Perbandingan	Motor Servo	Pneumatik	Motor Stepper
1	Harga	4	1	5
2	Komponen	5	2	4
3	Perawatan	5	2	5
4	Kontrol	5	4	5
5	Torsi	3	4	5
	Jumlah	22	13	24

Keterangan:

1 = Sangat Tidak Direkomendasikan

2 = Tidak Direkomendasikan

3 = Direkomendasikan

4 = Sangat Direkomendasikan

5 = Sangat Lebih Direkomendasikan

Aktuator penggerak memiliki beberapa jenis yaitu aktuator pneumatik, stepper, dan servo. Pemilihan motor stepper memiliki beberapa pertimbangan berdasarkan dari segi perbandingan terhadap aktuator penggerak lainnya. Pada Tabel. 4, untuk indikator harga 1 adalah harga kisaran Rp. 2.500.000,00 hingga Rp. 4.500.000,00. Untuk indikator komponen, harga 1 adalah komponen dengan jumlah 8-10 komponen sedangkan untuk harga 5 adalah komponen dengan jumlah 1-3 komponen. Kemudian indikator perawatan harga 1 adalah perawatan untuk 8-10 komponen, sedangkan untuk harga 5 adalah biaya perawatan untuk 1-3 komponen. Selanjutnya indikator sistem kontrol harga 1 menandakan bahwa kontrol untuk pemrograman komponen lebih dari 10, sedangkan harga 5 untuk menandakan bahwa kontrol untuk pemrograman komponen hanya berkisar antara 1 dan 5 buah komponen. Kemudian indikator torsi dengan daya yang digunakan sama yaitu sebesar 100 watt, harga 1 menandakan bahwa sistem membutuhkan daya sekitar 372 Watt atau lebih sedangkan untuk harga 5 berkisar antara 30 dan 50 watt. Berdasarkan tersebut, maka motor *stepper* dipilih untuk digunakan sebagai aktuator gerak. Agar motor *stepper* dapat diterapkan dalam rancang bangun ini maka dipilih spesifikasi sebagaimana Tabel. 5

Tabel. 5 Data spesifikasi Motor Listrik [5]

General Specification for High Torque Hybrid Stepping Motor

Item	Specifications
Step Angle	1.8°
Step Angle Accuracy	±5% (full step, no load)
Resistance Accuracy	±10%
Inductance Accuracy	±20%
Temperature Rise	80°C Max.(rated current,2 phase on)
Ambient Temperature	-20°C~+50°C
Insulation Resistance	100M Ω Min. ,500VDC
Dielectric Strength	500VAC for one minute
Shaft Radial Play	0.02Max. (450 g-load)
Shaft Axial Play	0.08Max. (450 g-load)
Max. radial force	75 N (20mm from the Flange)
Max. axial force	15N
Rotation	CW(See from Front Flange)

Model No.	Rated Voltage	Current /Phase	Resistance /Phase	Inductance /Phase	Holding Torque	# of Leads	Rotor Inertia	Weight	Detent Torque	Length
SY57STH56-1006A SY57STH56-1006B	7.4	1	7.4	10	9.0	6	300	0.7	0.4	56

Tabel. 5 menjelaskan bahwa tegangan yang dibutuhkan motor stepper adalah 7.4 [Volt], dengan arus listrik sebesar 1 [A] dengan torsi 9 [kg/cm]

Maka analisis daya kebutuhan motor listrik ini adalah

$$\begin{aligned}
 P &= \text{Daya [Watt]} \\
 I &= \text{Arus [Ampere]} \\
 V &= \text{Tegangan [V]} \qquad \qquad \qquad (\text{Persamaan 1})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P &= V \times I \\
 P &= 7.4 \text{ [Volt]} \times 1 \text{ [A]} \\
 P &= 7.4 \text{ [Watt]}
 \end{aligned}$$

Maka waktu yang dibutuhkan untuk menggerakkan *clamp* menuju sistem pemanas yaitu:

$$\begin{aligned}
 E_p &= \text{Energi Potensial [Joule]} \\
 m &= \text{Massa [kg]} \\
 g &= \text{Percepatan Gravitasi} = 9.81 \left[\frac{m}{s} \right] \\
 h &= \text{Ketinggian [m]}
 \end{aligned}$$

$$P = E_p \qquad \qquad \qquad (\text{Persamaan 2})$$

$$\eta \cdot V \cdot I \cdot t = m \cdot g \cdot h$$

$$30\% \cdot 7.4 \text{ [Volt]} \times 1 \text{ [A]} \times t = 3 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [kg]} \times 0.5 \text{ [m]}$$

$$t = \frac{3 \text{ [kg]} \times 9.8 \text{ [kg]} \times 0.5 \text{ [m]}}{30\% \cdot 7.4 \text{ [Volt]} \times 1 \text{ [A]}}$$

$$t = 6.6216 \text{ [s]}$$

4. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari desain Sistem Otomatisasi Mesin *Vacuum Forming* adalah:

1. Berdasarkan data hasil pengujian sistem kontrol untuk *set-point* maka sistem yang diterapkan dapat digunakan untuk mesin *Vacuum Forming* dan sistem digunakan adalah sistem on-off dengan *power switching* jika pemanas yang digunakan lebih dari 1.
2. Aktuator penggerak yang digunakan yaitu motor stepper karena lebih banyak kelebihanannya berdasarkan 5 indikator penentuan aktuator, dan
3. Waktu yang dibutuhkan motor stepper untuk mengangkat adalah 6,61 [s].

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. Siracusa, P. Rocculi, S. Romani, and M. D. Rosa, "Biodegradable polymers for food packaging: a review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 19, no. 12, pp. 634–643, 2008.
- [2] D. Pen, W. Ekspor, and E. Mei, "Kemasan Sebagai Daya Saing Produk," pp. 1–20, 2016.
- [3] I. L. P. Harasta, C. Landis, G. Gerald, and N. Y, "United States Patent 19," no. 54, 1992.
- [4] Calisster, William, D.,A. Introduction, "Materials science.",pp. 889, 2002.
- [5] "Soyo Technical Data Sheet", 2013

PERANCANGAN ULANG SISTEM PROTEKSI MOTOR DAN DISTRIBUSI TENAGA BATCHING PLANT NAROGONG

Andika Setyo Prabowo¹, Azwardi², Juniarto Hamonangan³, Djuminto³

¹Teknik Mesin, Konsentrasi Rekayasa Industri, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Beji, Kukusan, Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424,

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

³ Agregate and Construction Materials Maintenance Coordinator Java Market, PT Holcim Indonesia Tbk andikasetyo67@gmail.com, andikasetyoprabowo.holcim@gmail.com

Abstrak

Pada Batching Plant Narogong, terdapat banyak sekali peralatan penting yang menunjang proses pembuatan beton, beberapa peralatan tersebut digerakan oleh motor induksi 3 fasa seperti untuk menggerakkan pompa, belt conveyor, compressor dan fungsi lainnya. Motor-motor tersebut diproteksi dengan menggunakan alat proteksi listrik 3 fasa seperti MCCB, MCB, Kontaktor dan Thermal Over Load Relay (THOR) untuk mencegah dari kondisi beban lebih dan hubung singkat. Kondisi alat proteksi motor yang tidak sesuai dengan beban yang diproteksi, membuat motor tidak terlindungi, yang akan berdampak pada terbakarnya motor; hal ini akan membuat operasional Batching Plant mengalami downtime, dimana ketika salah satu motor induksi 3 fasa terbakar karena sistem proteksi yang tidak berfungsi, maka harus menghentikan proses produksi untuk sementara waktu dan kemudian dilakukan proses penggantian. Hal ini menimbulkan kerugian tersendiri karena tidak tercapainya jumlah produksi yang optimum, serta pengeluaran cost maintenace sebesar Rp 7.000.000 untuk satu kali penggantian motor. Hal yang sama terjadi pada alat proteksi beban 1 fasa, selain tidak sesuai dengan beban yang diproteksi, pada pendistribusian tenaganya tidak seimbang antara beban fasa R,S, dan T. Penelitian ini bertujuan untuk merancang ulang sistem proteksi motor dan distribusi tenaga pada Batching Plant Narogong. Studi dimulai dengan pengambilan data dari beban 1 fasa yang dilihat dari daya aktifnya dan 3 fasa yang diambil dari data spesifikasi motor. Berdasarkan data tersebut kemudian dihitung per-typical berdasarkan standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) untuk menentukan jenis dan rating sistem proteksi yang akan dipakai. Selanjutnya pembuatan gambar SLD (Single Line Diagram) dan MLD (Multi Line Diagram) untuk melihat jalur pendistribusian tenaga, yang kemudian menjadi dasar dalam penyeimbangan beban pada fasa R,S, dan T. Dari hasil perancangan didapatkan untuk pengaturan sistem proteksi dari setiap motor dan beban 1 fasa, serta pemutus utama pada setiap panel yang beracuan pada standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik). Dan didapatkan pembagian beban yang seimbang pada fasa R ;44,55 kVA, S ;44,53 kVA,dan T ;44,90 kVA.

Kata Kunci : Sistem Proteksi, Distribusi Tenaga , Standart PUIL..

Abstract

At Batching Plant Narogong, there are many important equipments supporting the concrete making process, some of that equipments are driven by 3 fasa induction motors such as for actuating the pump, the belt conveyor, the compressor and other functions. These motors are protected by using 3 fasa electrical protection devices such as MCCB, MCB, Contactor and Thermal Over Load Relay (THOR) to prevent from overload and short circuit conditions. The condition of the motor protection device that is not accordance with the load make the motor is not protected, which will affect the burning of the motor; this will make the operational Batching Plant has down time, where when one 3 phase induction motor burned because the protection system is not function, it must stop the production process for a while and then do the replacement process. this has caused a loss, because not reaching the optimum amount of concrete production and the expenditure cost maintenace of Rp 7,000,000 for a one-time replacement motor. The same thing happens in a 1 phase protection devices, other than not in accordance with the load, on the unbalanced power distribution between the R, S, and T phases. This research aims to redesign the motor protection system and power distribution in the Batching Plant Narogong. The study begins with the retrieval of data from a 1 phase load seen from its active power and 3 phases derived from the name plate motor. The data is then calculated per-line based on the PUIL standard to determine the type and rating of the protection system to be used. Furthermore, making the image of SLD (Single Line Diagram) and MLD (Multi Line Diagram) to see the power distribution path, which then becomes the basis in load balancing on phases R, S, and T. After the results of the design obtained, it can make for setting the protection system of each motor and 1 phase load, as well as the main breaker on each panel which refer to standard PUIL. And obtained equal load distribution in phase R; 44,55 kVA, S; 44,53 kVA, and T; 44,90 kVA.

Keyword : Protection System, Power Distribution, , PUIL Standard.

1. PENDAHULUAN

Sistem proteksi motor listrik merupakan komponen yang memiliki peranan penting untuk melindungi motor listrik yang sedang bekerja dari kerusakan akibat beban lebih (*Overload*), arus lebih (*Over current*), dan akibat adanya hubung singkat. Berdasarkan analisa yang telah dilakukan terhadap beberapa kasus terbakarnya motor 3 fasa di *Batching plant* Narogong, disebabkan oleh kegagalan sistem proteksi motor, dimana kondisi alat proteksi motor tidak sesuai dengan beban yang diproteksi serta instalasi yang tidak tepat, kegagalan serupa juga terjadi pada alat proteksi beban 1 fasa, selain tidak sesuai dengan beban yang diproteksi, pada pendistribusian tenaganya tidak seimbang antara beban fasa R,S, dan T. Ditambah dengan tidak adanya gambar SLD (*Single Line Diagram*) dan MLD (*Multi Line Diagram*) pada *Batching Plant* Narogong yang membuat ketika terjadi *trouble* pada masalah *electrical* akan sulit untuk mencari interkoneksi antar panel.

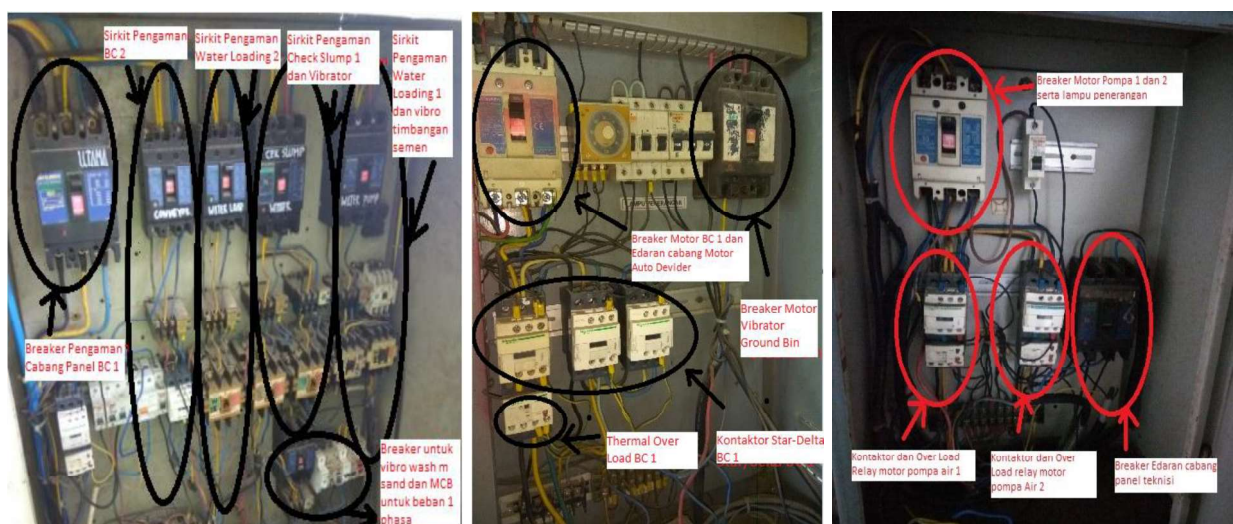
Oleh karena itu dibutuhkan perancangan ulang sistem proteksi motor dan beban 1 fasa yang disesuaikan dengan standar PUIL (Persyaratan Umum Instalasi Listrik) serta distribusi tenaga pada *Batching Plant* Narogong, agar tidak ada lagi motor yang terbakar yang diakibatkan karena kegagalan sistem proteksi, serta pembagian beban yang seimbang pada fasa R,S, dan T.

2. METODOLOGI

2.1 Metode Observasi

Pada tahap ini, dilakukan pengamatan kondisi pada setiap panel secara langsung dan melakukan pengambilan data mengenai spesifikasi alat proteksi MCB, kontaktor, dan *Over Load Relay* yang dipakai saat ini, serta pengamatan jalur pembagian daya pada masing- masing panel, Pada tahap ini juga melakukan pengamatan pada setiap spesifikasi motor dan beban 1 fasa. Data yang diperoleh diantaranya :

1. Data daya beban dan FLA (*Full Load Ampere*) pada masing-masing motor yang diperoleh dari *nameplate* motor.
2. Daya aktif (watt) setiap beban 1 fasa yang diperoleh dari setiap spesifikasi alat.
3. Jalur pendistribusian tenaga yang dilakukan untuk mengetahui hubungan sistem baik tiga fasa ataupun satu fasa dari sumber listrik, *breaker* dan peralatan- peralatan listrik yang lain. Pengecekan dilakukan dengan cara menelusuri jalur kabel dan pengetesan menggunakan *test pen* dan tang ampere ketika salah satu *breaker* dimatikan.
4. Spesifikasi MCCB/MCB, kontaktor, dan *Thermal Over Load Relay* yang dipakai saat ini pada setiap panel yaitu Panel Induk *Batchroom*, panel BC1, teknisi, panel air 1 dan 2, panel *Change Over Switch*.



Gambar.1 (a) Kondisi panel Induk *Batchroom*, 1 (b) Kondisi panel BC 1, dan 1 (c) Kondisi Panel Air 1 dan 2

2.2 Pembuatan SLD (*Single Line Diagram*) dan MLD (*Multi Line Diagram*)

Setelah mengetahui hubungan sistem baik tiga fasa ataupun satu fasa dari sumber listrik, *breaker*, dan peralatan- peralatan listrik yang lain yang didapat dari hasil observasi maka dibuatlah gambar

Single Line Diagram dan *Multi Line Diagram* jalur distribusi tenaganya menggunakan *software* Auto Cad. Berdasarkan hasil pembuatan SLD dan MLD akan terlihat semua pembagian jalur tenaga kesemua beban listrik yang ada pada *Batching Plant* Narogong yang kemudian akan menjadi data dalam proses perancangan ulang sistem proteksi dan distribusi tenaga pada penelitian ini.

2.3 Perancangan

Pada tahap ini, dilakukan perancangan berdasarkan kebutuhan konsumen, hasil pemilihan konsep dan studi literatur. Perancangan dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan, yaitu :

1. menghitung KHA (Kemampuan Hantar Arus) saluran minimum tiap-tiap panel peralatan menjadi acuan dalam proses *load balance*, dengan menggunakan rumus :

Beban 3 fasa [3]

$$I_n = \frac{P(\text{Watt})}{\eta \times \cos \varphi \times \sqrt{3} \times V_{in}} = \frac{S(VA)}{\sqrt{3} \times V_{in}} \quad [\text{Persamaan. 1}]$$

Beban 1 fasa [3]

$$I_n = \frac{P(\text{Watt})}{\eta \times \cos \varphi \times V_{in}} = \frac{S(VA)}{V_{in}} \quad [\text{Persamaan. 2}]$$

2. menghitung persen ketidakseimbangan beban arus pada setiap SDP (*Sub Distribution Panel*), dengan menggunakan rumus :

mencari persen ketidakseimbangan arus [2]

$$\% I_{\text{Unbalance}} = \frac{I_{\text{max}} - I_{\text{average}}}{I_{\text{average}}} \times 100\% \quad [\text{Persamaan. 3}]$$

3. menghitung pendistribusian daya pada beban 3 fasa

Beban 3 fasa [3]

$$VA_{\varphi} = \frac{VA_{\text{Beban}_3\varphi}}{3} \quad [\text{Persamaan. 4}]$$

4. menghitung KHA pemutus daya motor yang menjadi acuan dalam pemilihan nilai pengenal pada proteksi hubung pendek motor, dengan menggunakan rumus :

Menghitung KHA proteksi hubung pendek untuk motor sangkar atau serempak, dengan pengasutan bintang segitiga, langsung pada jaringan [1]

$$KHA_{\text{pmts_daya}} = 2,5 \times I_n \quad [\text{Persamaan. 5}]$$

5. menghitung KHA pemutus daya utama yang menyuplai beberapa peralatan, dengan menggunakan rumus :

KHA pemutus daya utama [1]

$$KHA_{\text{Pmts_Daya_Utama}} = \left(\sum \text{Peralatan} \times I_n \right) + 2,5 \times I_{n_terbesar} \quad [\text{Persamaan. 6}]$$

6. penentuan besarnya kontaktor berdasarkan daya motor beracuan pada catalog TeSys™ D *Contactors* Schneider.

7. menentukan nilai arus *setting* pada *Thermal Over Load Relay*

Nilai arus *setting* pada *Thermal Over Load Relay* sekurang-kurangnya diatur 110% - 115% arus pengenal motor [1] Pada *Batching Plant* Narogong menggunakan *Thermal Overload* TeSys D

$$I_{\text{minThermalOverloadRelay}} = (1,1 \times I_n) \quad [\text{Persamaan. 7}]$$

$$I_{\text{maxThermalOverloadRelay}} = (1,15 \times I_n) \quad [\text{Persamaan. 8}]$$

2.4 Simulasi Rancangan

Setelah perancangan telah dibuat, kemudian disimulasikan menggunakan *software* ETAP (*Electric Transient and Analysis Program*) dan *Power Plot*. *Software* ETAP dapat digunakan pada sistem tenaga listrik dalam bentuk diagram satu garis (*One Line Diagram*) yang kemudian dapat disimulasikan

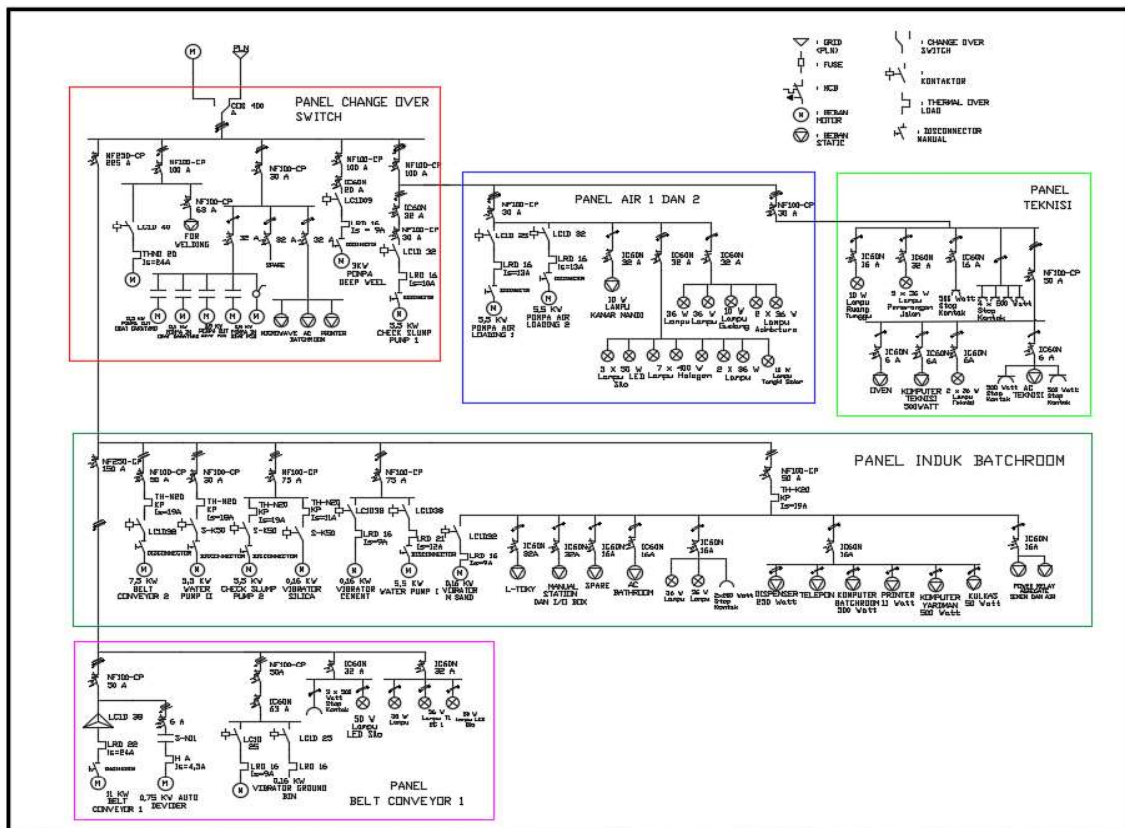
terjadinya hubung singkat, sehingga nanti akan terlihat bagaimana kerja sistem proteksi yang telah dibuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Keseimbangan Beban

Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik pada *Batching Plant* Narogong, terjadi pembagian beban-beban pada tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) yang digunakan untuk beban 3 fasa maupun beban 1 fasa. Penempatan beban antara tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, dan fasa T) yang tidak seimbang menyebabkan mengalirnya arus di kabel netral trafo. Penyediaan tenaga listrik yang stabil dan kontinyu merupakan syarat mutlak yang harus dipenuhi dalam memenuhi kebutuhan tenaga listrik.[3]

3.1.1 Actual Condition



Gambar.2 SLD Sistem Proteksi dan Distribusi Tenaga *Batching Plant* Narogong saat ini

Setelah proses pembuatan SLD *Batching Plant* Narogong kondisi pada saat ini yang terdapat pada “Gambar.2” maka didapatkan jalur pembebanan serta nilai beban masing-masing *equipment* yang kemudian dapat dianalisa keseimbangan bebannya, dengan menggunakan perhitungan “Persamaan.1” , “Persamaan.2” , “Persamaan 3” ,”Persamaan.4” , didapatkan hasil pembebanan pada masing- masing panel pada “Tabel.1”

Tabel.1 Pembebanan pada *Batching Plant* Narogong

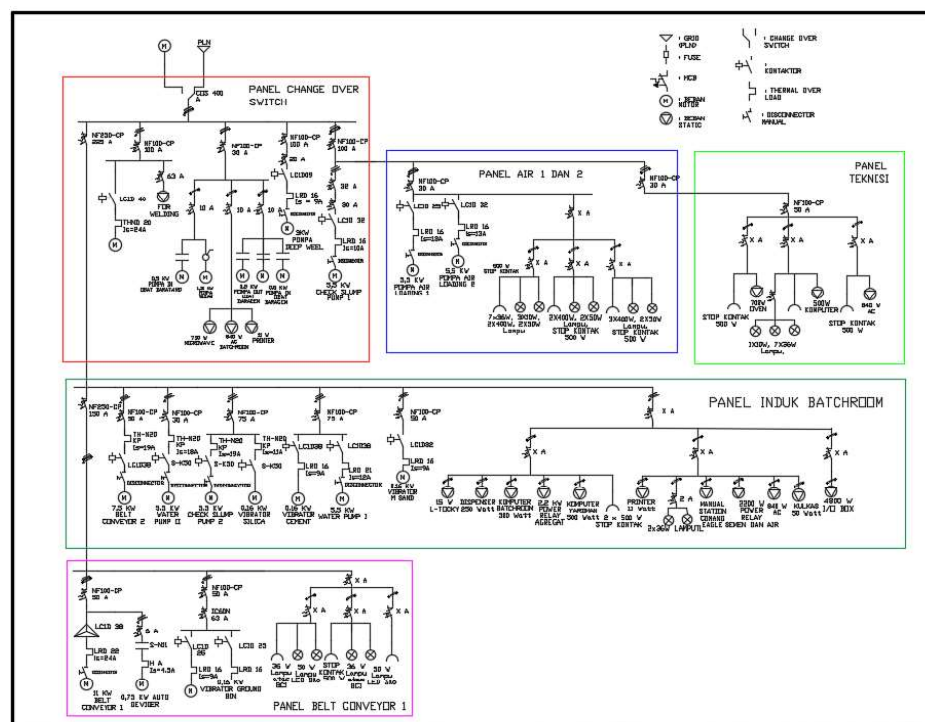
Panel	VA phase			I Phase			Iunbalance
	R	S	T	R	S	T	
Panel COS	15.498,2	13.947,2	17.097,2	65,31	58,26	72,36	9,98%
Panel Teknisi	1462,0	0,0	2340,0	6,64	0	10,63	86,64%
Panel Air 1 dan 2	5046,2	4844,2	9924,2	23,72	22,8	45,9	50,16%
Panel Induk Batchroom	17.129,5	18.737,5	11.114,5	75,73	85,31	50,66	20,89%
Panel Belt Conveyor 1	5061,4	5183,4	6611,4	23,07	23,62	30,12	17,62%
Total per fasa	44.197,3	42.712,3	47.087,3	194,47	189,99	209,67	6,50%
Total VA	133996,9						

NEMA (*National Electrical Manufacture Association*) memberikan rekomendasi yang berdasarkan pada IEC 60364-4-44 tentang *Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances* untuk ketidakseimbangan arus pada suatu instalasi tidak boleh melebihi 5 %. [2]

- Kondisi sebelum dilakukannya perancangan ulang :
 1. Nilai pengenal arus proteksi hubung singkat (*Circuit Breaker*) dan nilai setting arus untuk *Thermal Over Load Relay* pada masing- masing motor tidak sesuai dengan beban yang tercantum pada spesifikasi motor yang menyebabkan motor tidak terproteksi secara maksimal
 2. Nilai pengenal arus proteksi hubung singkat (*Circuit Breaker*) untuk peralatan 1 fasa tidak sesuai dengan beban pada spesifikasinya.
 3. Pada salah satu jalur pengaman motor, terdapat proteksi hubung singkat yang menyuplai langsung 2 motor dan beban 1 fasa, yang menyebabkan apabila terjadi hubung singkat pada salah satu motor atau beban 1 fasa, maka akan mengganggu proses kerja motor lainnya dan begitupun sebaliknya.
 4. Pembagian beban 1 fasa yang tidak seimbang pada fase R,S, dan T yang menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan arus sebesar lebih dari 5%. Berdasarkan standart tersebut maka berdasarkan analisa keseimbangan beban pada “Tabel.1” kondisi distribusi tenaga pada *Batching Plant* saat ini melebihi batas dan tidak seimbang antara fase R,S, dan T pada distribusi ke masing-masing panel.

3.1.2 Perancangan Distribusi Tenaga *Batching Plant* Narogong

Proses perancangan ulang distribusi tenaga dilakukan dengan cara melakukan proses pemindahan beban 1 fasa pada fase R,S atau T , lalu beban tiap-tiap kelompok dihitung, hingga mendapatkan beban tiap-tiap fasa yang seimbang. “Gambar.3” adalah hasil gambar SLD *Batching Plant* Narogong setelah dilakukan penyeimbangan beban.



Gambar.3 SLD Hasil Perancangan distribusi tenaga *Batching Plant* Narogong

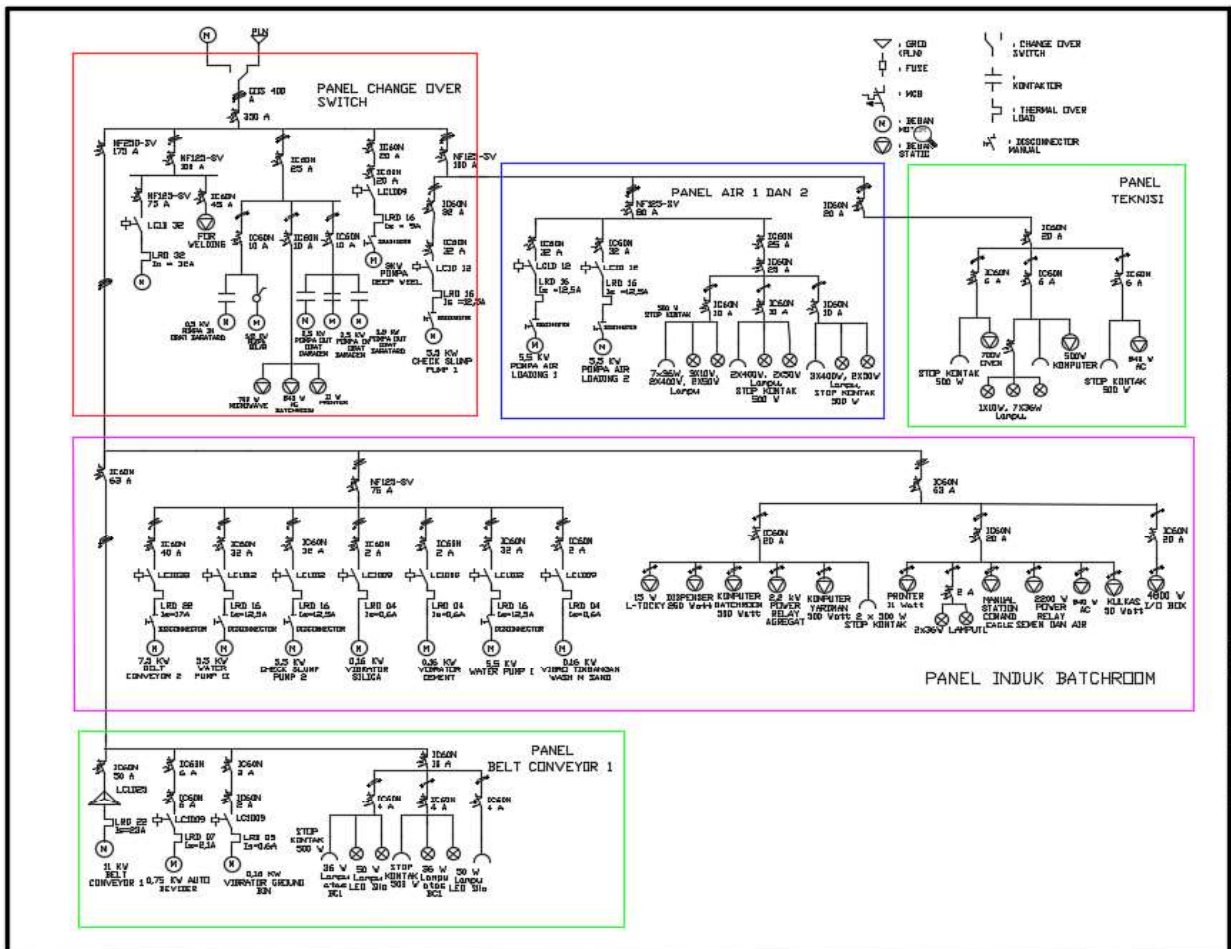
Table.2 Hasil Pembebanan setelah pengaturan ulang pada *Batching Plant* Narogong

Panel	VA phase			I Phase			Iunbalance
	R	S	T	R	S	T	
Panel COS	15.597,2	15.498,2	15.447,2	70,70	70,48	70,25	0,34%
Panel Teknisi	1.200,0	1.262,0	1340,0	5,45	5,74	5,89	0,35%
Panel Air 1 dan 2	6.526,2	6.644,2	6.644,2	29,73	30,26	30,25	0,59%
Panel Induk Batchroom	15.579,5	15.487,5	15.914,5	70,96	70,08	70,66	0,55%
Panel Belt Conveyor 1	5.647,4	5.647,4	5.561,4	25,73	25,73	25,34	0,50%
Total per fasa	44.550,3	44.539,3	44.907,3	202,573	202,293	202,395	0,15%
Total VA	133996,9						

Dari hasil perancangan ulang distribusi tenaga didapatkan pembebanan pada masing-masing fasa pada setiap panel yang terlihat pada “Tabel.2” yaitu seimbang dan memiliki % arus *unbalance* dibawah 5%.

3.2 Perancangan Sistem Proteksi

Perancangan sistem proteksi motor dan beban 1 fasa dilakukan perjalur sirkit pengaman yang kemudian menjadi dasar dalam penentuan pengaman utama atau sirkit pembagi. Dasar dalam perhitungannya yaitu menggunakan “Persamaan. 5”, “Persamaan. 6”, “Persamaan. 7”, dan “Persamaan. 8”. Perancangan sistem proteksi motor dan beban 1 fasa mengacu pada hasil pembagian jalur tenaga pada *Batching Plant* Narogong yang telah diseimbangkan.



Gambar.4 SLD Hasil Perancangan Sistem Proteksi dan Distribusi Tenaga *Batching Plant* Narogong

- Kondisi Setelah dilakukannya perancangan ulang :
1. Nilai pengenalan arus proteksi hubung singkat (Circuit Breaker) dan nilai *setting* arus untuk *Thermal Over Load Relay (THOR)* pada masing- masing motor sesuai dengan beban yang tercantum pada spesifikasi motor serta standar PUIL 2011 yang menyebabkan motor akan terproteksi secara maksimal.
 2. Nilai pengenalan arus proteksi hubung singkat (Circuit Breaker) untuk peralatan 1 fasa, sesuai dengan beban pada spesifikasinya dengan acuan standar PUIL 2011 ayat 437.
 3. Setiap motor diproteksi tersendiri terhadap arus lebih yang diakibatkan oleh hubung pendek sesuai dengan standar PUIL 2011 ayat 434.5.
 4. Terpisahnya sistem proteksi untuk motor dengan sistem proteksi beban 1 fasa yang akan berdampak apabila terjadi hubung singkat pada motor tidak akan mengganggu distribusi tenaga untuk peralatan 1 fasa dan begitupun sebaliknya.
 5. Pembagian beban 1 fasa yang seimbang pada fase R,S, dan T, pembebanan pada masing-masing fasa pada setiap panel yang terlihat pada “Tabel.2” yaitu seimbang dan memiliki % arus *unbalance* dibawah 5%.

Pada *Maintenance* Holcim Beton untuk Breaker/MCCB menggunakan produk Mitsubushi tipe NF-250 SV untuk rentang arus 150A-250A dan tipe NF 125 SV untuk rentang arus 75A-125A, sedangkan untuk MCB (Miniature Circuit Breaker) menggunakan produk Scheneider tipe IC60N dengan rentang arus 0,5A-63 A, lalu untuk kontaktor menggunakan produk Scheneider tipe LC1D, dan untuk *Over Load Relay* menggunakan produk Scheneider tipe LRD. Setelah didapatkannya nilai pengenalan proteksi hubung singkat dan beban lebih untuk setiap motor dan beban 1 fasa dari hasil perancangan, kemudian dari hasil tersebut disesuaikan dengan penggunaan alat-alat proteksi yang digunakan pada *Maintenance* Holcim Beton, maka diperoleh data material yang dibutuhkan dari hasil perancangan pada “Tabel.3”

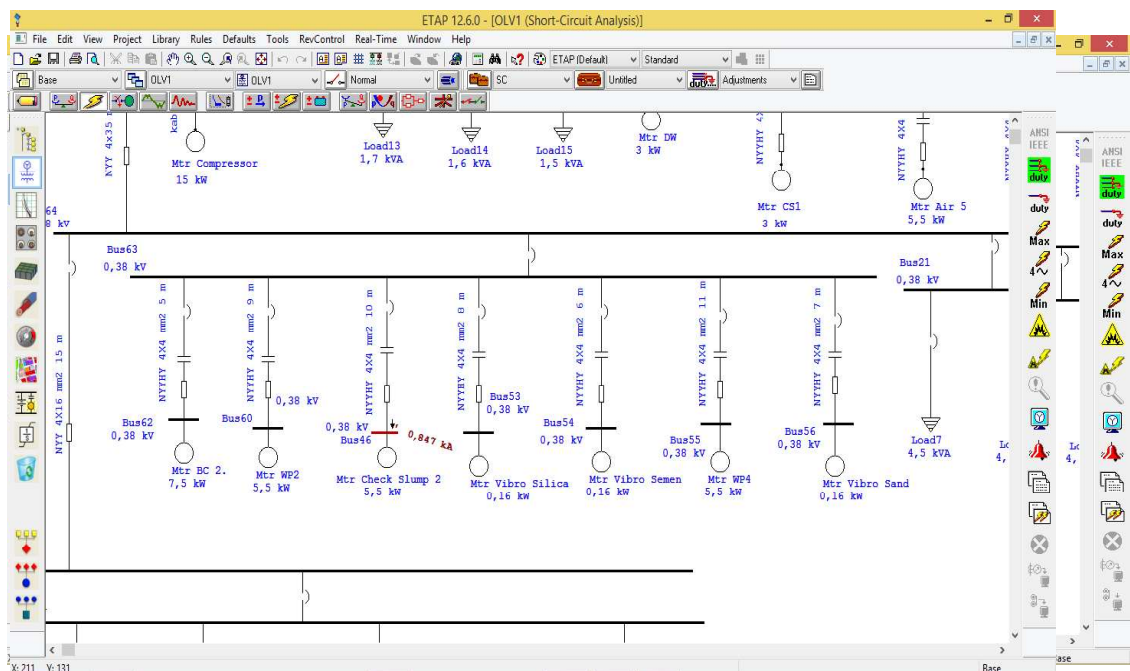
Table.3 Data Material yang dibutuhkan dari hasil perancangan untuk proses realisasi

No	Nama Peralatan	Jumlah (Unit)	Keterangan
1	MCB 3 φ IC60N 63 A	1	Kebutuhan peralatan hasil perancangan sistem proteksi pada Panel BC 1
2	MCB 3 φ IC60N 50 A	1	
3	MCB 3 φ IC60N 10 A	1	
4	MCB 3 φ IC60N 6 A	2	
5	MCB 1 φ IC60N 4 A	3	
6	MCB 3 φ IC60N 2 A	2	
7	Kontaktur LC1D 25	3	
8	Kontaktur LC1D 09	3	
9	Thermal Over Load LRD 22, Is=23 A	1	
10	Thermal Over Load LRD 07, Is=2,1 A	1	
11	Thermal Over Load LRD 05, Is=0,6 A	1	
12	Breaker 3 φ NF 125 SV 75 A	1	Kebutuhan peralatan hasil perancangan sistem proteksi pada Panel Induk Batchroom
13	MCB 3 φ IC60N 63 A	1	
14	MCB 3 φ IC60N 40 A	1	
15	MCB 3 φ IC60N 32 A	3	
16	MCB 1 φ IC60N 20 A	3	
17	MCB 3 φ IC60N 2 A	3	
18	Kontaktur LC1D 18	1	
19	Kontaktur LC1D 12	3	
20	Kontaktur LC1D 09	3	
21	Thermal Over Load LRD 22, Is=17 A	1	
22	Thermal Over Load LRD 16, Is=12,5 A	3	
23	Thermal Over Load LRD 04, Is=0,6 A	3	
24	Breaker 3 φ NF 125 SV 75 A	1	
25	MCB 3 φ IC60N 32 A	2	

26	MCB 3 φ IC60N 25 A	2	Kebutuhan peralatan hasil perancangan sistem proteksi pada Panel Air 1 dan 2
27	MCB 3 φ IC60N 20 A	1	
28	MCB 1 φ IC60N 10 A	3	
29	Kontaktor LC1D 12	2	
30	Thermal Over Load LRD 16, Is=12,5 A	2	Kebutuhan peralatan hasil perancangan sistem proteksi pada Panel Teknisi
31	MCB 3 φ IC60N 20 A	1	
32	MCB 1 φ IC60N 6 A	3	
33	Breaker 3 φ NF 400 SV 350 A	1	
34	Breaker 3 φ NF 125 SV 175 A	1	
35	Breaker 3 φ NF 125 SV 100 A	2	
36	Breaker 3 φ NF 125 SV 75 A	1	
37	MCB 3 φ IC60N 40 A	1	
38	MCB 3 φ IC60N 32 A	2	
39	MCB 3 φ IC60N 20 A	2	
40	Kontaktor LC1D 32	1	
41	Kontaktor LC1D 12	1	
42	Kontaktor LC1D 09	1	
43	Thermal Over Load LRD 32, Is=32 A	1	
44	Thermal Over Load LRD 16, Is= 9 A	2	

3.3 Simulasi Rancangan

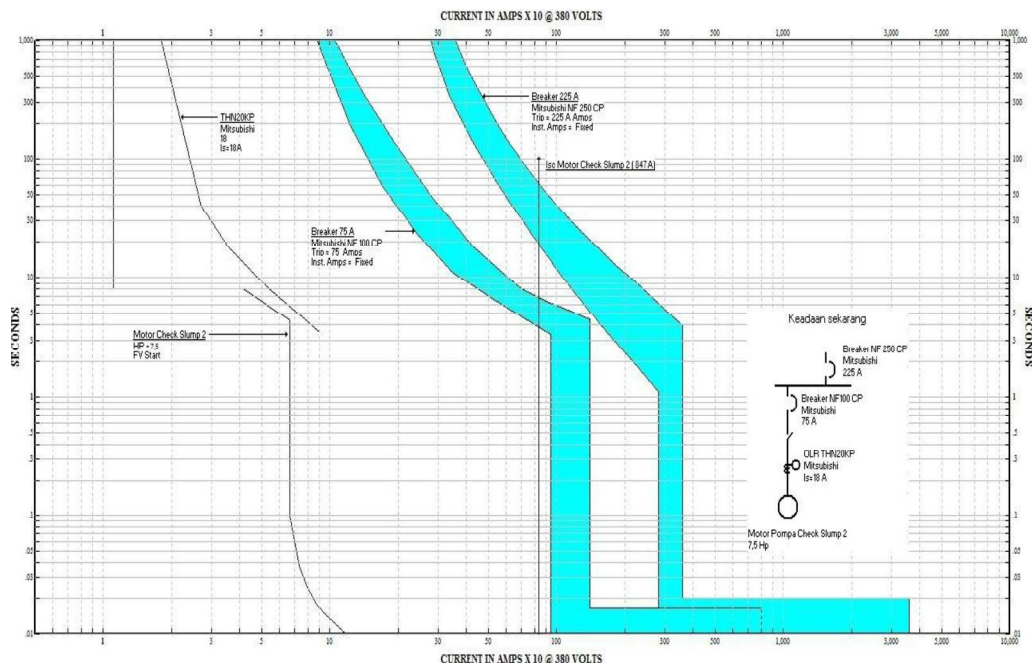
Berdasarkan hasil perancangan maka dapat disimulasikan menggunakan ETAP software untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat pada rangkaian dan *Power Plot* untuk melihat grafik kerja dari sistem proteksi, gambaran hasil simulasi yaitu dalam bentuk *Tripping Curve*, simulasi dilakukan pada salah satu jenis motor yaitu pada sistem proteksi motor pompa *Check Slump 2* pada panel Induk *Batchroom*. Untuk mendapatkan nilai arus hubung singkat pada software ETAP, terlebih dahulu dibuat rangkaian dalam bentuk *one line diagram* yang kemudian dimasukan parameter-parameter yang dibutuhkan berdasarkan kondisi aktual pada *Batching Plant* Narogong, seperti Trafo yang digunakan yaitu Trafo 150 kVA, 20kV/380V, Kabel Cu 4 x 50 mm² sepanjang 500 m yang digunakan untuk penghubung antara Trafo menuju panel *Change Over Switch*, Kabel Cu 4 x 35 mm² sepanjang 32 m yang digunakan untuk penghubung antara panel *Change Over Switch* menuju *Panel Induk Batchroom*, Kabel Cu 4 x 4 mm² sepanjang 10 m yang digunakan untuk penghubung antara panel Induk *Batchroom* menuju motor *Check Slump 2*, dan spesifikasi dari motor *Check Slump 2*.



Gambar.5 Hasil nilai *short circuit current* pada motor *Check Slump 2* pada software ETAP

Terlihat pada “Gambar.5” pada jalur sirkit motor pompa *check slump* 2 mengalami gangguan dengan besar arus 0,847 kA atau 847 A. Arus *short circuit* tersebut kemudian menjadi acuan dalam simulasi grafik kerja sistem proteksi yang telah dibuat pada sirkit motor pompa *Check Slump* 2.

- Motor Pompa Check Slump 2
 Daya : 5,5 kW/7,5 HP
 FLA (Full Load Ampere) : 11,1 A
 Sistem proteksi yang digunakan saat ini :
 - Breaker Utama Mitsubishi NF 250 CP 150 A
 - Breaker Motor Check Slump 2 Mitsubishi NF 100 CP 75 A
 - THOR (*Thermal Over Load Relay*) Mitsubishi THN 20 KP Is = 18 A
 Hasil Rancangan Sistem Proteksi :
 - Breaker Utama Motor NF 125 SV 75 A
 - MCB Motor *Check Slump* 2 Schneider iC60N 32 A
 - THOR (*Thermal Over Load Relay*) Schneider LRD 16 Is = 12,5 A



Gambar.6 Grafik Kerja Sistem Proteksi Motor *Check Slump* 2 saat ini

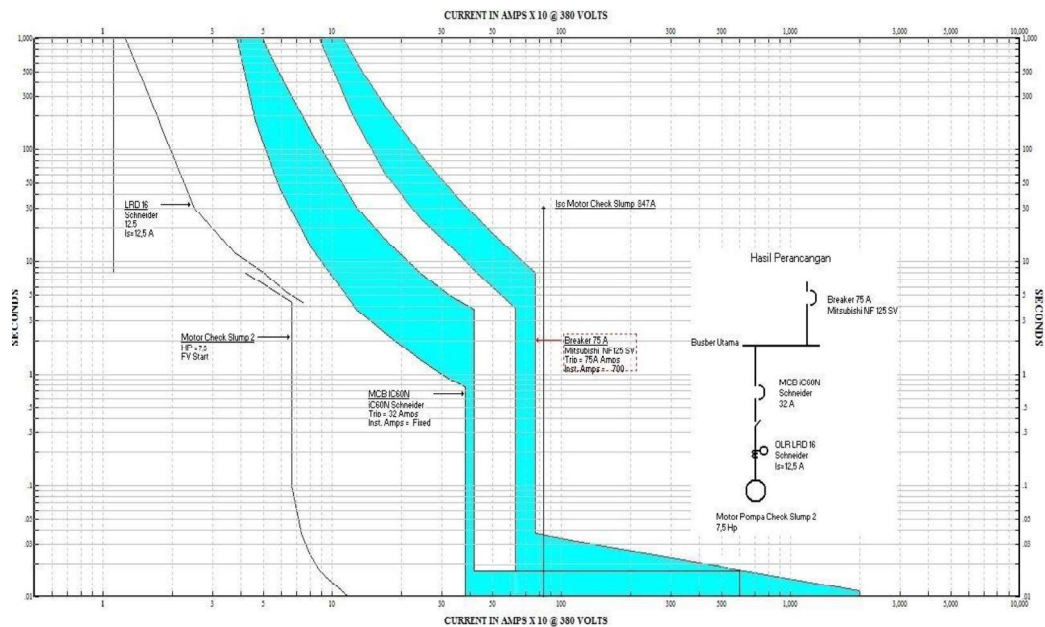
Pada “Gambar.6” terlihat pada saat motor *Check Slump* 2 mengalami gangguan yang disebabkan oleh beban lebih maka peralatan pengaman yang bekerja adalah THOR THN20KP yang diatur pada 18 A. Mengenai waktu trip THOR pada saat beban lebih dapat dilihat pada “Tabel.4”

Tabel 4 Persentase *over load* dan waktu *tripping* THOR 18A THN20KP

Over Load	120%In (13,32A)	150%In (16,65A)	180%In (19,98A)	200%In (22,2A)	220%In (24,42A)
Waktu Tripping	Belum mengalami tripping	Belum mengalami tripping	400 sekon	280 sekon	80 sekon

Sedangkan apabila terjadi hubung singkat maka peralatan pengaman yang bekerja adalah MCCB75A NF 100 CP karena MCCB ini digunakan sebagai pengaman arus hubung singkat, Kurva breaker yang kiri adalah garis ketika kemungkinan CB (Circuit Breaker) akan trip adalah 0%. Jadi, region di sebelah kiri kurva ini dipastikan tidak akan membuat CB trip. Kurva yang kanan adalah garis ketika kemungkinan CB akan trip adalah 100%. Jadi, di sebelah kanan kurva ini dipastikan CB akan trip. Di antaranya tentu saja kemungkinan CB akan trip adalah di antara 0% – 100%, maka yang akan menjadi acuan yaitu kurva sebelah kanan. Ketika terjadi hubung singkat sebesar 847 A yang didapat dari simulasi ETAP maka MCCB75A NF 100 CP akan trip dalam waktu 7 sekon.

MCCB75A NF 100 CP ini di back up dengan MCCB225A NF 250 CP yang berfungsi untuk mengamankan seluruh rangkaian dimana apabila MCCB75A NF 100 CP ini tidak dapat bekerja apabila telah terjadi gangguan pada rangkaian/motor maka MCCB225A NF 250 CP yang akan bekerja, dan MCCB ini akan trip dalam waktu 60 detik.



Gambar.7 Grafik Kerja Sistem Proteksi Motor *Check Slump 2* hasil perancangan

Pada “Gambar.7” terlihat pada saat motor *Check Slump 2* mengalami gangguan yang disebabkan oleh beban lebih maka peralatan pengaman yang bekerja adalah THOR LRD16 yang diatur pada 12,5 A mengenai waktu trip THOR LRD16 pada saat beban lebih dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persentase over load dan waktu tripping THOR 12,5 A LRD16

Over Load	120%In (13,32A)	150%In (16,65A)	180%In (19,98A)	200%In (22,2A)	220%In (24,42A)
Waktu Tripping	600 detik	200 detik	90 detik	50 detik	28 detik

Sedangkan apabila terjadi hubung singkat maka peralatan pengaman yang bekerja adalah MCB32A IC60N karena MCB ini digunakan sebagai pengaman arus hubung singkat, Ketika terjadi hubung singkat sebesar 847 A yang didapat dari simulasi ETAP maka MCB32A IC60N akan trip dalam waktu 0,018 detik. MCB32A IC60N ini di back up dengan MCCB75A NF 125 SV yang berfungsi untuk mengamankan seluruh rangkaian motor pada panel Induk *Batchroom* dimana apabila MCB32A IC60N ini tidak dapat bekerja apabila telah terjadi gangguan pada rangkaian/motor maka MCCB75A NF 125 SV yang akan bekerja, dan MCCB ini akan trip dalam waktu 0,038 detik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan ulang sistem proteksi motor dan distribusi tenaga didapatkan pembagian beban yang seimbang pada fasa R ;44,55 kVA, S ;44,53 kVA,dan T ;44,90 kVA dengan %*Iunbalance* mencapai 0,15% , serta pengaturan semua sistem proteksi motor dan beban 1 fasa yang telah disesuaikan dengan beban serta standar PUIL sehingga diharapkan tidak ada lagi motor yang terbakar akibat kegagalan sistem proteksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugandi, Imam, Ir., Budiman, Masgunarto, Ir. MSc., Djoekardi, Djuhana, Ir., Soekarto, J.,Ir., Sukarni, “Panduan Instalasi Listrik PUIL 2011”. Jakarta : Yayasan Usaha Penunjang Tenaga Listrik. 2011.
- [2] National Electrical Manufacture Assosiation. 2009. *NEMA Standard*. Washington.DC: Part 12 Page 19
- [3] Setiadji, Julius Sentosa. Madmushah, Tabrani “Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses pada Trafo Distribusi” .Universitas Kristen Petra, Surabaya,2006.

RANCANGAN MESIN PENCETAK BAKSO DENGAN KAPASITAS 1000 [BUTIR/JAM] UNTUK PERUSAHAAN X

Indriyani Rebet¹; Yohannes Patrick¹; Azrio Ichسانی²; Fadhil Mohammad Rasyadi²

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, Jawa Barat, Indonesia

²Progam Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
fadhilrasyadi@gmail.com

Abstrak

Di Indonesia rata-rata proses pencetakan bakso dengan skala industri menengah ke bawah masih menggunakan cara manual yaitu menggunakan tangan. Pencetakan secara manual membutuhkan waktu yang lama dan masih diragukan kebersihannya. Salah satu cara mengatasi masalah diatas dengan merancang mesin pencetak bakso berskala industri menengah ke bawah yang dapat membantu para pengusaha kecil. Tujuan perancangan ini adalah membuat mesin cetak dan bak penampungan, menghitung daya dan kapasitas mesin yang digunakan untuk membuat bakso sehingga bermanfaat bagi industri berskala menengah ke bawah dan sebagai solusi untuk menjadikan hasil produksi bakso lebih efisien dan efektif. Dalam perancangan ini, data primer yang digunakan adalah, kapasitas adonan Bakso 0,25 kg/menit, besar diameter bakso 25 mm dan hasil cetakan 20 butir/menit. Prinsip kerja dari mesin pencetak ini ialah dengan menggunakan alat potong yang dirancang khusus agar bisa mencetak bakso dengan diameter 25 mm. Metode rancangan yang digunakan adalah dengan menggunakan data primer untuk menentukan sistem transmisi, dimensi komponen-komponen mesin dan mekanisme pencetakan bakso. Hasil yang diperoleh dari perancangan ini adalah daya motor penggerak pada mesin pencetak bakso sebesar ¼ HP. Alat pemotongan menggunakan dan bak penampungan atau corong terbuat dari plat stainless steel 304 dengan ukuran lebar 40 mm dan tinggi 135 mm. Rangka mesin menggunakan besi hollow, ukuran (20 × 20 × 2) mm dan sambungan rangka menggunakan las listrik. Daya yang diperoleh sesuai dengan daya yang tersedia di setiap industri menengah ke bawah sehingga mesin ini dapat digunakan sebagai industri dengan skala menengah ke bawah. Hasil rancangan alat diperoleh produksi maksimum mesin pencetak yaitu 1000 butir/jam.

Kata kunci: Mesin Cetak, Bakso, Kapasitas, Industri menengah ke bawah.

Abstract

In Indonesia the average process of meatballs molding in medium to low industrial scale is still using the manual method by hand. Placing it manually takes a long time and is still in doubt cleanliness. One way to solve the above problems by designing a low industrial scale molding machine that can help small entrepreneurs. The purpose of this design is to create a mold and storage device, calculate the power and capacity used to make meatballs that are beneficial to lower-middle-scale industries and as a solution to make meatballs production more efficient and effective. In this design, the primary data used is the dough capacity of Meatballs 0.25 kg/min, the diameter of the meatballs 25 mm and the 20 grains/minute. The working principle of this meatball molding machine is use a specially designed cutting tool to mold the meatballs with a diameter of 25 mm. The design method used is to use the primary data to determine the transmission system, the dimensions of the machine components and the molding mechanism of the meatballs. The results obtained from this design is the amount of power that we need for meatball printing machine is ¼ HP. The material used for cutting tools and tubs or funnel made of 304 stainless steel plate with width 40 mm and height 135 mm. The engine frame uses an hollow iron, the profile is (20 × 20 × 2) mm and the frame connection using electric weld. The power obtained is in accordance with the power available in each medium to lower scale industry so that the machine can be used as an industry with medium to lower scale. The results obtained from this machine design the maximum production capacity is 1000 grains/hour.

Keywords : Molding Machine, Meatball, Capacity, Medium To Lower Scale Industry.

1. LATAR BELAKANG

Bakso merupakan makanan yang terbuat dari olahan daging yang sudah dihaluskan. Diberi bumbu, tepung dan dibentuk bulat, itulah bakso yang kita kenal. Bakso juga merupakan salah satu makanan yang digemari oleh masyarakat Indonesia karena harganya yang murah dan rasanya yang lezat.

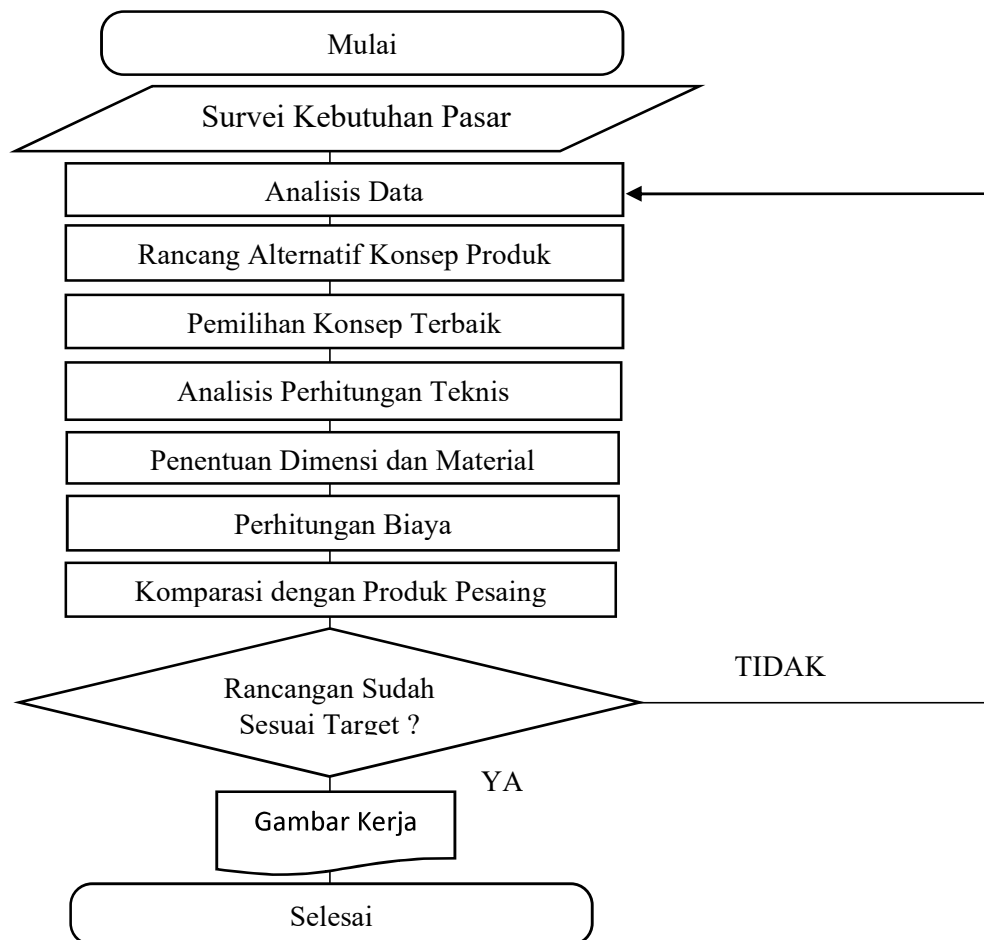
Hal ini berdampak pada meningkatnya jumlah pengusaha bakso terutama di skala UMKM. Permasalahan yang dialami pengusaha bakso di skala UMKM adalah harga mesin produksi bakso yang terlalu tinggi untuk usaha UMKM terutama mesin pencetak bakso. Harga yang ditawarkan untuk mesin pencetak bakso yang ada berkisar antara Rp 11.500.000 hingga Rp 16.694.000 dengan kapasitas berkisar antara 230 – 280 [butir/menit]. Dengan harga setinggi itu mesin ini kurang terjangkau untuk usaha skala UMKM. Harga yang tinggi tersebut disebabkan karena mesin tersebut memiliki kapasitas yang melebihi yang dibutuhkan yaitu berkisar antara 230 – 280 [butir/menit] dibandingkan dengan kebutuhan pengusaha UMKM yaitu hanya 20 [butir/menit].

Permasalahan pada mesin pencetak bakso yang ada saat ini dapat diselesaikan dengan proses rancang ulang terhadap mesin pencetak bakso yang sudah ada. Proses rancang ulang mesin dilakukan untuk menghasilkan rancangan mesin pencetak bakso yang disesuaikan dengan target pasar yaitu pengusaha bakso di skala UMKM yang membutuhkan hanya 2000 [butir/hari] sehingga harga jualnya lebih murah. Hasil rancang ulang ditargetkan mampu untuk dijual kepada pengusaha-pengusaha UMKM dengan harga yang lebih bersaing dan tetap mengutamakan higienitas dengan menggunakan material yang aman untuk makanan.

2. TUJUAN

Mampu melakukan rancang ulang yang dilakukan terhadap mesin pencetak bakso yang sudah ada dan dapat berfungsi sesuai harapan customer/pengusaha bakso

3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1 Diagram alir proses rancang ulang

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kajian Pembeding Alat yang Sudah Ada

Kajian ini digunakan sebagai parameter pembeding dalam menganalisis permasalahan yang terdapat pada alat yang sudah ada, berdasarkan pada kelebihan dan kekurangan. Berikut adalah alat sejenis yang dijadikan sebagai pembeding :

4.1.1 Mesin Cetak Bakso MBM-R280



Gambar 2 Mesin Cetak Bakso MBM-R280

- 1) Spesifikasi
 - a) Daya : 750 [watt] /220/50Hz
 - b) Material : Stainless Steel + Kuningan
 - c) Ukuran Bakso : 1.7/2.1/2.4/2.8 [cm]
 - d) Kapasitas : 250 [butir/menit]
 - e) Dimensi Mesin : 750 x 380 x 1280 [mm]
 - f) Berat Mesin : 85 [kg]
 - g) Harga : Rp 16.694.000
- 2) Kelebihan
 - a) Memiliki konsumsi daya paling rendah daripada kedua mesin pencetak pembeding lainnya yaitu hanya 750 [Watt].
 - b) Memiliki rasio antara daya dengan kapasitas tertinggi.
 - c) Mampu mencetak bakso dengan 4 diameter yang berbeda
- 3) Kekurangan
 - a) Harga yang mahal dibanding pesaing lainnya
 - b) Bobot mesin terlalu tinggi mencapai 85 [kg].
 - c) Dimensi mesin paling besar yaitu 750 x 380 x 1280 [mm].

4.1.2 Mesin Cetak Bakso AST-CBK01



Gambar 3 Mesin Cetak Bakso AST-CBK01

1) Spesifikasi

- a) Daya : 1100 Watt / 220/50Hz
- b) Material : Stainless Steel + Kuningan
- c) Ukuran Bakso : 1.7/2.1/2.8 [cm]
- d) Kapasitas : 280 [butir/menit]
- e) Dimensi Mesin : 600 x 380 x 1380 [mm]
- f) Berat Mesin : 80 [kg]
- g) Harga : Rp 11.500.000

2) Kelebihan :

- a) Memiliki kapasitas paling tinggi yaitu 280 [butir/menit].
- b) Memiliki harga paling terjangkau yaitu Rp 11.500.000.
- c) Dimensi mesin paling kecil dibanding kedua produk pembeding lainnya yaitu hanya 600 x 380 x 138 [mm].

3) Kekurangan :

- a) Hanya mampu mencetak dalam 3 ukuran.
- b) Daya yang dikonsumsi mesin terlalu besar yaitu 1100 [watt].

4.1.3 Mesin Cetak Bakso Getra SJ 280



Gambar 4 Mesin Cetak Bakso Getra SJ 280

1) Spesifikasi

- a) Daya : 1100 [Watt] / 220 V/50Hz
- b) Material : Stainless Steel + Kuningan
- c) Ukuran Bakso : 1.8/2.6/3.9 [Cm]
- d) Kapasitas : 230 [butir/menit]
- e) Dimensi Mesin : 750 x 450 x 1250 [mm]
- f) Berat Mesin : 74 [Kg]
- g) Harga : Rp 12.650.000

2) Kelebihan :

- a) Memiliki bobot paling ringan yaitu hanya 74 [Kg].

3) Kekurangan :

- a) Daya yang dikonsumsi mesin besar 1100 [Watt].
- b) Hanya mampu mencetak dalam 3 ukuran.
- c) Memiliki kapasitas pencetakan yang paling rendah yaitu hanya 230 [butir/menit].

4.2 Konsep Rancangan Mesin Cincang dan Pengaduk Adonan Daging Bakso

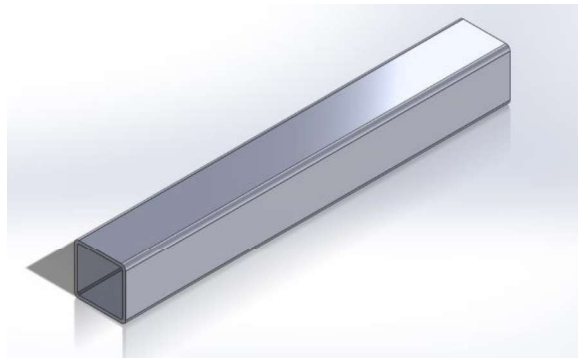
Mesin pencetak bakso dirancang ulang dengan proses *reverse engineering* dari mesin pencetak bakso yang sudah ada. Kapasitas mesin disesuaikan dengan kebutuhan target pasar yaitu pengusaha bakso skala UMKM. Mesin ini menggunakan material *food grade* yang aman untuk makanan.

4.3 Komponen Utama Mesin Pencetak Bakso

Mesin pencetak bakso ini terdiri dari tiga komponen utama yaitu rangka, komponen pencetak dan komponen penggerak.

a) Rangka

a) Besi *Hollow*



Gambar 5 Besi *Hollow*

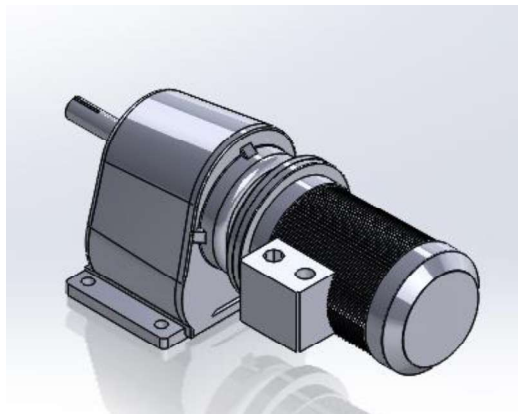
Salah satu material yang saat ini mulai banyak digunakan untuk rangka adalah besi *hollow*. Besi *hollow* adalah besi yang berbentuk pipa kotak.

Besi *hollow* memiliki beberapa keunggulan yang membuat jenis besi ini begitu banyak diminati oleh masyarakat. Beberapa keunggulan besi *hollow* diantaranya adalah proses pemasangan yang cepat dan harga yang cukup terjangkau. Besi *hollow* sangat cocok untuk membuat rangka mesin pencetak karena besi *hollow* memiliki berat yang ringan dibandingkan dengan besi jenis lain.

Besi *hollow* yang digunakan adalah besi *hollow* galvanis yang bebas dari karat dan korosi akibat perubahan cuaca atau karena air hujan yang bersifat asam, Besi *hollow* memiliki kualitas yang bagus karena bahannya yang kokoh dan memiliki durabilitas untuk keperluan jangka panjang. Besi *hollow* yang kami gunakan memiliki profil $(20 \times 20 \times 2)$ [mm].

b) Komponen Penggerak Mesin Pencetak

a) Motor Listrik



Gambar 6 Motor with reducer

Motor listrik merupakan sebuah perangkat elektromagnetis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor listrik dapat menghasilkan daya yang dibutuhkan oleh sebuah alat sehingga motor listrik sebagai sumber penggerak utama mesin ini.

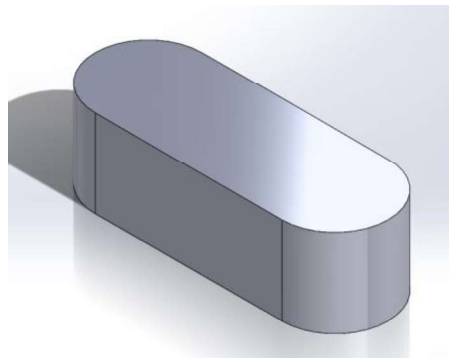
b) Poros



Gambar 7 Poros

Poros merupakan sebuah elemen mesin berbentuk silinder pejal yang berfungsi sebagai penerus daya dan tempat dudukan elemen-elemen seperti *pulley*, *sprocket*, roda gigi, kopling dan juga sebagai elemen penerus daya dan putaran dari penggerak mesin. Poros merupakan bagian terpenting, karena berfungsi sebagai komponen penerus putaran atau daya.

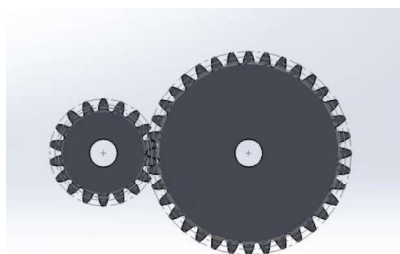
c) Pasak



Gambar 8 Pasak

Pasak digunakan untuk mencegah gerakan relative antara poros dengan elemen mesin yang lain seperti roda gigi, *pulley*, *sprocket*, *cam*, dll. Ada banyak jenis pasak untuk berbagai macam jenis penggunaan. Jenis pasak akan tergantung pada besar torsi yang ditransmisikan, jenis beban, pemasangan yang diperlukan, batas tegangan poros, dan biaya / ongkos. Ada bermacam-macam jenis pasak, akan tetapi yang paling sering digunakan adalah pasak jenis *square*, *tapered*, dan *Woodruff*.

d) Roda Gigi

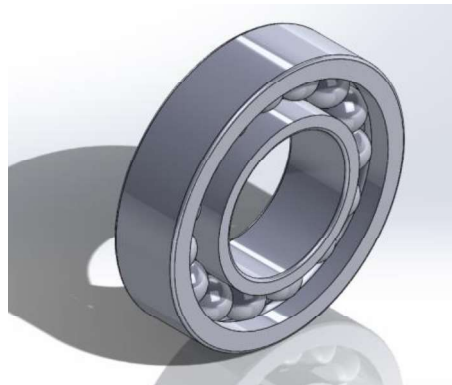


Gambar 9 Pinion dan Gear

Roda gigi merupakan elemen mesin yang berfungsi utama sebagai penerus daya dan pengubah kecepatan putaran dari dua buah poros yang dihubungkan olehnya, baik secara reduksi (penurunan kecepatan) ataupun secara akselerasi (peningkatan kecepatan). Sehingga dari perubahan kecepatan yang dihasilkan tersebut akan menghasilkan perubahan torsi yang bekerja pada poros. Jenis roda gigi ada bermacam-macam antara yaitu roda gigi lurus (*spur gear*), roda gigi miring (*helical gear*), roda gigi cacing

(*worm gear*), roda gigi kerucut (*bevel gear*) dan lain-lain. Dalam topik bahasan ini digunakan dua jenis roda gigi dari beberapa jenis di atas yaitu roda gigi lurus dengan gigi eksternal dan roda gigi cacing.

e) **Bantalan**



Gambar 10 *Bantalan*

Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus, aman, dan panjang umur. Jadi, bantalan dalam permesinan dapat disamakan peranannya dengan pondasi pada gedung.

c) **Komponen Pencetak Mesin Pencetak**

a) *Hopper*



Gambar 11 *Hopper*

Hopper adalah komponen yang berfungsi untuk menampung adonan sebelum memasuki *screw conveyor*. *Hopper* biasanya umumnya] bentuk menyerupai kerucut terpancung. *Hopper* yang diperuntukkan untuk memproduksi makanan harus terbuat dari material yang aman untuk makanan/ *food grade*.

b) *Screw Conveyor*



Gambar 12 *Screw Conveyor*

Screw Conveyor adalah alat untuk mengangkut bahan padat berbentuk halus atau bubuk. Alat ini pada dasarnya terbuat dari pisau yang berpilin mengelilingi suatu sumbu sehingga bentuknya mirip sekrup. *Screw conveyor* merupakan alat yang memiliki ulir dan arah putarannya serah jarum jam. Dimana masing masing ulir antara satu dengan yang lainnya mempunyai jarak yang sama. Dimana fungsinya adalah untuk memindahkan atau mentransfer adonan bakso.

Alat ini pada dasarnya terbuat dari pisau yang berpilin mengelilingi suatu sumbu sehingga bentuknya mirip sekrup. Pisau berpilin ini disebut flight. Macam-macam flight adalah *Sectional flight*, *Helicoid flight*, dan *Special flight*. Ketiga itu terbagi atas *cast iron flight*, *ribbon flight*, dan *cut flight*. Konveyor berflight section dibuat dari pisau-pisau pendek yang disatukan tiap pisau berpilin satu putaran penuh dengan cara disambung tepat pada tiap ujung sebuah pisau dengan dilas sehingga akhirnya akan membentuk sebuah pilinan yang panjang.

c) Mekanisme Pencetak

Mekanisme pencetak mesin adalah alat berfungsi untuk mencetak adonan bakso sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Alat ini memiliki bentuk menyerupai mangkok setengah lingkaran dengan pinggiran yang tajam.

4.4 Prinsip Kerja

Proses pencetakan bakso dimulai ketika adonan bakso dituangkan ke dalam hopper kemudian adonan akan dipindahkan dari hopper menuju pencetak menggunakan *screw conveyor*. Setelah melewati *screw conveyor* adonan akan melewati mekanisme pencetak bakso kemudian setelah tercetak bakso akan masuk ke dalam bak penampungan bakso. Mesin ini hanya menggunakan sebuah motor listrik berdaya 0,25 [HP] untuk menggerakkan *screw conveyor* dan mekanisme pencetak bakso putaran mesin harus direduksi menggunakan roda gigi. Kapasitas yang ditargetkan adalah mesin mampu mencetak bakso 1000 [butir/jam] atau 12,5 [kg/jam].

4.5 Spesifikasi Target

- 1) Komponen yang bersentuhan dengan adonan menggunakan material stainless steel 304.
- 2) Mampu mencetak bakso dengan kapasitas 1000 [butir/jam].
- 3) Motor listrik yang digunakan 0,25 [HP].
- 4) Volume maksimum hopper adalah 3,5 [liter].
- 5) Kapasitas bak penampung adalah 30 [liter].
- 6) Rangka menggunakan besi hollow dengan profil (20 x 20 x 2) [mm].
- 7) Diameter bakso yang tercetak adalah 25 [mm].

4.6 Analisa Perhitungan Teknis

Proses pencetakan adonan daging bakso membutuhkan beberapa perhitungan teknis terkait elemen mesin yang digunakan dalam mesin pencetak bakso ini. Mesin ini direncanakan menggunakan penggerak utama sebuah motor listrik. Untuk analisa perhitungan teknis, digunakan rumus-rumus sebagai berikut :

Torsi dapat dihitung dengan rumus :

$$T = F \times r \quad \text{[Persamaan.1]}$$

Dimana :

$$T = \text{Torsi}$$

$$F = \text{Gaya}$$

$$r = \text{jari-jari}$$

Perbandingan Roda Gigi

$$\frac{D_2}{D_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad \text{[Persamaan.2]}$$

Dimana :

- D_2 = Diameter roda gigi yang digerakkan
- D_1 = Diameter roda gigi penggerak
- n_1 = kecepatan putar roda gigi penggerak
- n_2 = kecepatan putar roda gigi yang digerakkan

Gaya Tangensial Roda Gigi dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$F_{\text{tang}} = \frac{T}{r_m} \quad \text{[Persamaan.3]}$$

Dimana :

- F_{tang} = Gaya tangensial roda gigi
- T = Torsi roda gigi
- r_m = jari-jari roda gigi penggerak

Gaya Radial Roda Gigi dihitung menggunakan rumus :

$$F_{\text{rad}} = F_{\text{tang}} \times \tan \alpha \quad \text{[Persamaan.4]}$$

Dimana :

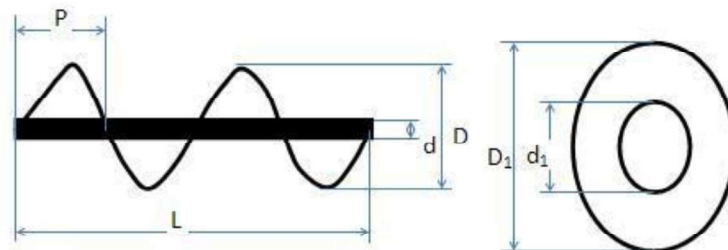
- F_{rad} = Gaya radial roda gigi
- F_{tang} = Gaya tangensial roda gigi
- α = sudut tekan roda gigi

Diameter Poros dapat dihitung berdasarkan persamaan :

$$d = \sqrt{\frac{16 M_{p_{eq}}}{\tau_{max} \cdot \pi}} \quad \text{[Persamaan.5]}$$

Dimana :

- d = Diameter poros
- $M_{p_{eq}}$ = Momen puntir ekuivalen
- τ_{max} = Tegangan geser maksimum



Gambar 13 Screw Conveyor

$$d_1 = \frac{1}{\pi} \sqrt{(\pi \times D)^2 + P^2}$$

$$D_1 = \frac{P}{7} + D - t$$

$$z = \frac{L}{P}$$

[Persamaan.6]

Dimana :

- L = panjang poros
- P = pitch/jarak
- z = jumlah ularan
- D = diameter conveyer setelah jadi
- D1 = diameter conveyer sebelum jadi
- d1 = diameter dalam sebelum jadi
- t = tebal

Menghitung daya yang dibutuhkan *screw conveyer*

$$P = \frac{T.n}{9,74 \times 10^5}$$

Dimana: [Persamaan.7]

- P = Daya rencana (kW)
- n = Putaran pemotongan (rpm)
- T = Torsi (kg mm)

4.7 Hasil Perhitungan

Rancang ulang mesin pencetak bakso ini telah menghasilkan rancangan mesin yang memproses adonan bakso dan mencetaknya menjadi bakso dengan kapasitas 1000 [butir/jam]. Perhitungan teknis bagian utama dari mesin ini meliputi: analisa kapasitas mesin, kecepatan *screw conveyer*, torsi yang terjadi pada mesin, daya motor listrik yang dibutuhkan, perbandingan roda gigi yang digunakan, gaya tangensial dan radial yang terjadi pada roda gigi, dan diameter poros dengan mempertimbangkan momen puntir ekuivalen.

Berdasarkan hasil analisa perhitungan didapatkan bahwa daya yang dibuthkan esin ini adalah 0,193 [hp]. Yang artinya dibutuhkan motor dengan daya ¼ [hp] untuk mengoperasikan mesin ini agar mampu mencetak bakso.

Mesin ini menggunakan 2 jenis roda gigi yaitu *bevel gear* dan *spur gear*. Roda gigi digunakan untuk menyalurkan putaran motor listrik untuk menggerakkan *screw conveyer* dan sendok pencetak. Perhitungan gaya tangensial dan gaya radial yang terjadi dalam transmisi roda gigi dapat diperoleh menggunakan persamaan 4 dan persamaan 5. Diameter poros untuk *screw conveyer* dapat ditentukan dengan persamaan.7 yaitu 20 [mm] dan poros yang mentransmisikan daya ke sendok pencetak sebesar 30 [mm].

Mesin ini menggunakan sebuah motor listrik sebagai penggerak utama. Motor listrik ini dirancang dapat menstransmisikan daya untuk menggerakkan poros untuk *screw conveyer* hingga 20[rpm] dan juga memutar sendok pencetak dengan kecepatan 20 rpm. Untuk mereduksi putaran dari motor listrik ke poros menggunakan perbandingan diameter roda gigi yang dituliskan dalam persamaan 3.

5. KESIMPULAN

- a. Mesin pencetak bakso rancangan kami memiliki kapasitas mesin disesuaikan dengan kebutuhan pengusaha bakso skala UMKM dengan kapasitas 1000 [butir/jam].

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam proses pembuatan karya tulis ini, tidaklah lepas dari berbagai bimbingan dan arahan, baik berupa ilmu, informasi, maupun segi administrasi yang sudah didapatkan. Maka, penulis berterima kasih kepada :

- a. Ibu Indriyani Rebet, Dra, M.Si, selaku dosen pembimbing non teknis.
- b. Bapak Yohanes Patrick, S.T, selaku dosen pembimbing.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Sularso; Suga, K., Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Cetakan ke 11, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2008.
- [2.] Khurmi, R.S.; Gupta, J.K., A Text Book of Machine Design, Eurasia Publishing House, Ram Nagar, New Delhi, 1988.
- [3.] Pramono, Agus Edy, Elemen Mesin I, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, 2016.
- [4.] Pramono, Agus Edy, Elemen Mesin II, Politeknik Negeri Jakarta, Depok, 2016.
- [5.] Nieman, G, Elemen Mesin, Erlangga, Jakarta, 2006.
- [6.] Ulrich, Karl T.; Eppinger, Steven D., Product Design and Development 2nd Edition, The McGraw-Hill Companies, 2000.
- [7.] Hutahaean, Ramses Yohanes, Mekanika Kekuatan Material, Graha Ilmu, Jakarta, 2014.

Rancang Bangun Sistem Mesin Penggerak Tanpa Bahan Bakar

Jodi Surya Gustanto¹, Khairul Amri², Lucky Andrean³, Darius Yuhus⁴, Sunarto⁵

¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jodisuryag@gmail.com

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, kr.amri30@gmail.com

³Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Luckyandreas2409@gmail.com

⁴Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

⁵Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Abstrak

Sistem mesin penggerak umumnya menggunakan energi fosil sebagai penghasil energi sedangkan untuk sistem mesin penggerak non fosil menggunakan angin, air dan sinar matahari sebagai penghasil energi. Sistem penggerak dengan energi fosil menghasilkan polutan dan CO₂ yang dapat merusak lingkungan sedangkan sistem penggerak non fosil saat ini relatif memerlukan ruang yang luas dan sulit untuk di pindahkan. Oleh karena itu, perlu dirancang-bangun sistem mesin penggerak portable dengan gaya gerak stabil dan ramah lingkungan menggunakan gaya tolak menolak antara magnet sebagai penghasil energi sehingga tercipta metode atau sistem mekanisme mesin penggerak yang bekerja tanpa menggunakan bahan bakar. Magnet diletakkan di dua piringan yang berbeda yaitu piringan stator dan rotor dengan posisi kutub magnet sejenis antara kedua magnet, Pada posisi diam, stator akan mengembang dan magnet tidak saling tolak-menolak. Stator ditutup (tidak mengembang), magnet saling tolak menolak dan rotor akan memutar poros.. Pada kecepatan putaran tertentu, governor mengembang menyebabkan piringan stator mengembang dan menjauhi piringan rotor, yang berfungsi sebagai penstabil sekaligus pengatur kecepatan putaran mesin, setelah kecepatan pada mesin berkurang akibat gaya tolak menolak semakin berkurang karena jarak antara magnet yang semakin jauh, governor kembali mengerucut dan kembali mendekati piringan stator ke piringan rotor sehingga gaya tolak menolak antara magnet kembali membesar. Putaran yang dihasilkan kemudian di teruskan ke alternator yang terhubung pada poros sehingga didapat output berupa arus listrik yang dapat dimanfaatkan, untuk mematikan mesin rem tarik dan menyebabkan poros terkunci dan piringan stator mengembang menjauhi piringan rotor dan kembali keposisi awal yang di akibatkan oleh pegas yang terdapat di antara bandul governor. Metode tersebut yang di aplikasikan dalam Squid Engine

Kata Kunci : Magnet, Rotor-Stator, Governor, Perpetual Motion

Abstract

Generally, an engine system is using a fossil energy as a fuel, while a non-fossil energy engine is using air, water and solar energy as a fuel. A fossil energy engine system is producing pollutant and CO₂ which can damage the environment while a non-fossil energy engine system is relatively require a large space and cannot be moved. So, a new portable engine system with stable motion and environmentally friendly need to be designed, using repulsive force between a magnet as an energy producer to create a method or an engine system mechanism that working without a fuel. Magnet is placed in two different plate of stator and rotor with similiar magnetic pole between, in stop condition, stator will expands and magnet will not repel each other. When stator is closed (not expanding), magnet will repeling each other and rotating the shaft. On a certain speed, governor will expand and making the stator disc expand and avoiding the rotor disc, which functionate as stabilizer and controlling the engine rotation speed at once, after the speed of the engine is reduced in result of the repulsive force is lessen because of the distance between the magnet is getting further, governor will back into conical position and making the rotor and stator approach, making the repulsive force between the magnet is increased. The rotation that produced is continued to the alternator that connected to the shaft and producing an output in the form of electric current that can be utiized, to stop the machine, a brake is pulled and making the shaft locked and stator expanding avoidong the rotor and making the engine back to the first condition which caused by the spring that can be found in the governor pendulum. This method is applicated into Squid Engine.

Keywords: Magnet, Rotor-Stator, Governor, Perpetual Motion

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

Sistem mesin penggerak yang biasa digunakan dalam kehidupan sehari-hari pada umumnya masih menggunakan energi fosil untuk menghasilkan daya. Daya yang dihasilkan dapat menimbulkan polutan dan merusak lingkungan karena energi fosil menghasilkan emisi pada CO₂. Selain itu, mesin penggerak non fosil yang sudah ada biasanya memiliki ukuran dimensi yang besar sehingga memerlukan biaya operasional perawatan yang relatif lebih mahal. Proses pembakaran pada mesin akan membuat kerja mesin menghasilkan panas dan menimbulkan kebisingan.

Mesin penggerak dengan energi fosil relatif lebih boros bahan bakar jika mesin bekerja terus menerus. Penggunaan tenaga penggerak alam seperti angin, air, dan sinar matahari juga memerlukan ruang yang luas sehingga sulit untuk dipindah. Solusi dari permasalahan tersebut yaitu diperlukannya suatu sistem potabel yang menghasilkan daya gerak stabil, dengan biaya relatif murah, dan ramah lingkungan.

Sistem pada squid engine ini menggunakan energi medan magnet. Polaritas daya magnet kuat dapat digunakan untuk mendorong atau menarik tiap satu piringan dengan lainnya sehingga jika diterapkan dalam mekanisme governor untuk mengatur jarak antar material magnet akan didapatkan daya yang mudah diatur dan stabil. Tujuan dirancangnya mekanisme squid engine untuk menghasilkan suatu sistem yang dapat memenuhi kebutuhan energi penggerak yang dapat dipindahkan, stabil, mudah diatur, dan ramah lingkungan.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode perancangan VDI 2221. Dengan metode penelitian ini, merupakan salah satu metode dengan pendekatan sistematis untuk menyelesaikan permasalahan serta mengoptimalkan penggunaan material dan teknologi. Dengan metode perancangan VDI 2221 yang sistematis diharapkan dapat mempermudah perancang untuk menguasai sistem perancangan tanpa harus menguasai secara detail. Metode ini mempermudah proses merancang sebuah produk dan mempermudah proses belajar bagi pemula serta dapat mengoptimalkan produktivitas perancang untuk mencari pemecahan masalah paling optimal.[1]

Metode VDI 2221 ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- **Penjabaran tugas (*Clarification of the task*)**
Meliputi pengumpulan informasi dari permasalahan dan kendala – kendala yang dihadapi, kemudian disusun suatu daftar persyaratan mengenai rancangan yang akan dibuat
- **Perancangan konsep produk (*Conceptual Design*)**
Terdapat tiga langkah kerja yaitu :
 - a. Menentukan fungsi dan strukturnya
 - b. Mencari prinsip solusi dan strukturnya
 - c. Menguraikan solusi menjadi varian yang dapat direalisasikan
- **Perancangan wujud produk (*Embodiment Design*)**
Pada perancangan wujud dimulai dengan menguraikan rancangan dalam modul – modul yang diikuti oleh desain awal dan desain jadi.
- **Perancangan terinci (*Detail Design*)**
Tahap ini merupakan proses perancangan dalam bentuk gambar yang tersusun dan gambar detail termasuk komponen, spesifikasi bahan, toleransi dan lainnya. Pada fase ini semua pekerjaan didokumentasikan sehingga pembuatan produk dapat dilaksanakan.[2]



Gambar 1. Diagram Alir

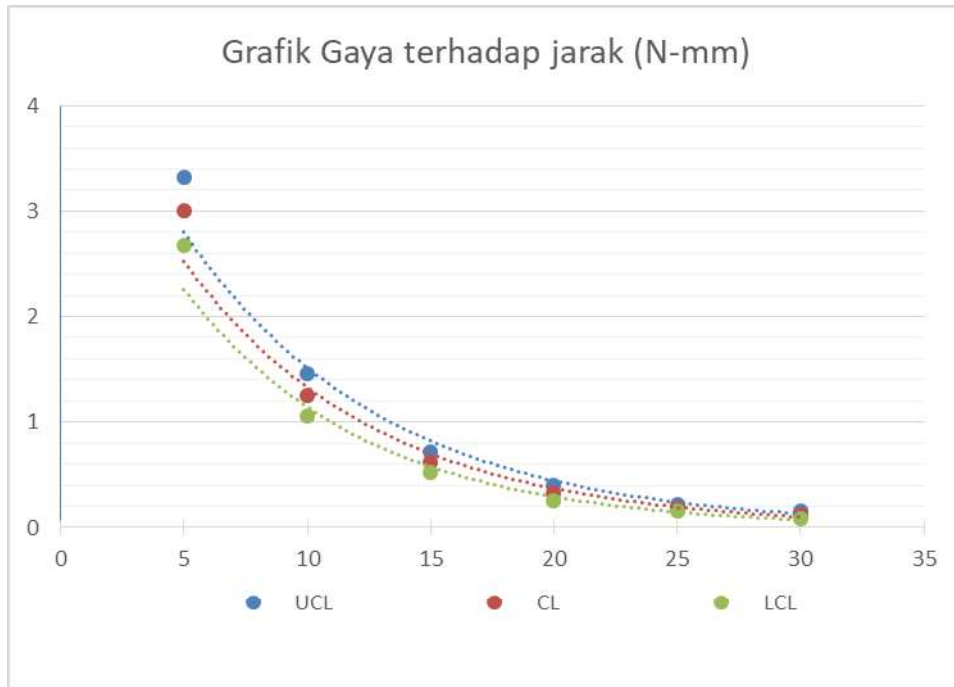
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil uji gaya tolak magnet

Gaya tolak menolak magnet antar dua magnet berubah-ubah pada jarak yang berbeda. Untuk magnet Neodymium N52 yang digunakan, dilakukan pengujian yang hasilnya adalah sbb:

Tabel. 1 Hasil uji gaya tolak menolak magnet

No	Jarak					
	5	10	15	20	25	30
	Hasil [gram]					
1	282	134	58	29	17	9
2	304	116	60	27	18	10
3	289	119	59	31	19	11
4	309	133	65	35	20	11
5	310	125	65	36	18	13
6	297	139	65	38	20	13
7	304	124	62	32	19	12
8	298	126	59	34	19	13
9	318	133	59	34	21	14
10	321	120	65	36	19	12
11	305	124	59	33	18	10
12	319	118	65	36	19	13
13	314	138	70	36	21	12
14	290	138	64	32	20	12
15	298	134	61	36	19	13
16	288	133	60	38	21	13
17	304	137	68	37	20	12
18	310	133	58	32	19	13
19	292	124	67	37	21	14
20	315	119	63	30	19	14
21	313	122	63	35	21	12
22	314	120	65	35	20	13
23	300	136	63	35	20	13
24	314	130	66	35	19	12
25	291	129	62	32	19	12
26	304	127	61	34	18	12
27	318	138	68	34	19	11
28	309	121	66	32	18	13
29	323	134	59	32	19	13
30	313	128	65	35	19	11
31	303	132	63	31	20	13
32	304	125	66	32	20	13
33	294	125	59	30	22	14
34	320	122	62	33	18	11
35	321	123	61	35	17	10



Gambar 1. Grafik Gaya terhadap jarak



Gambar 2. Grafik Pertambahan gaya per satuan jarak

2. Pembahasan dan Hasil Perancangan Dengan Metode VDI 2221

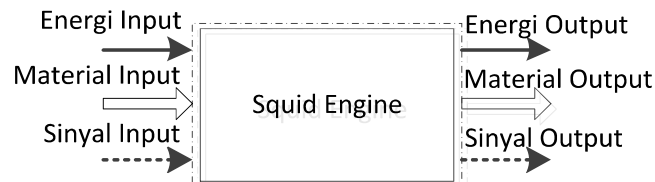
1. Penentuan Konsep Rancangan

Ditentukannya konsep rancangan, yaitu berupa spesifikasi menyeluruh dari mesin yang dirancang. Meliputi geometri, kinematik, gaya, energi, material, keselamatan, produksi, *quality control*, perakitan, pengoperasian, perawatan dan juga biaya. Setiap spesifikasi dikelompokkan sesuai dengan kebutuhannya yang meliputi *demand* (D) dan *wishes* (W), yang kemudian hasilnya akan diabstraksi yaitu proses menghilangkan hal-hal yang bersifat subyektif dan hal-hal yang tidak berhubungan dengan fungsi peralatan. Didapatkan hasil abstraksi sbb:

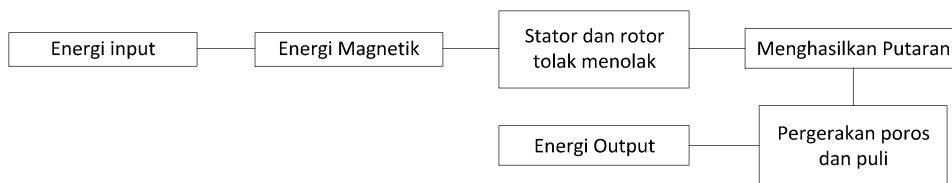
- o Jarak minimal antar magnet rotor dan stator adalah jarak yang menghasilkan gaya tolak menolak yang optimal

- Governor dapat menggerakkan piringan stator untuk menstabilkan putaran mesin
 - Rotor berputar ketika stator digerakkan mendekat
 - Rotor berputar dengan kecepatan 2000 RPM
 - Mesin tidak menyebabkan suhu tinggi dan tahan korosi
2. Penyusunan struktur fungsi

Struktur fungsi menggambarkan hubungan secara umum dan output suatu sistem teknik yang akan menjalankan tugas tertentu. Fungsi keseluruhan ini kemudian diuraikan diuraikan menjadi beberapa sub fungsi yang memiliki kerumitan lebih rendah dalam penyelesaian masalah. Berikut adalah hasil dari penyusunan struktur fungsi:



Gambar 3. Struktur fungsi keseluruhan



Gambar 4. Sub struktur fungsi

3. Prinsip Solusi

Prinsip solusi dari setiap sub struktur fungsi disusun dalam bentuk tabel kombinasi yang hasilnya adalah beberapa kombinasi prinsip solusi, yang kemudian dilakukan penilaian dengan tabel evaluasi penilaian yang berdasarkan pada diagram pohon objektif, yang hasilnya adalah sbb:

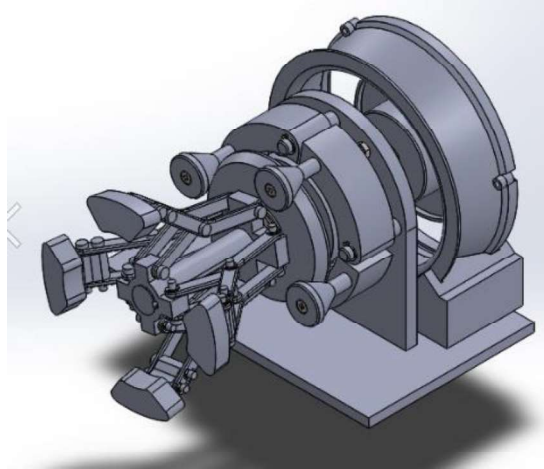
Tabel. 2 Evaluasi Penilaian

No	Kriteria	Bobot (W)	Varian											
			1		2		3		4		5		6	
			V1	VW1	V2	VW2	V3	VW3	V4	VW4	V5	VW5	V6	VW6
1	Biaya Modal	0.20	4	0.8	6	1.2	7	1.4	9	1.8	8	1.6	4	0.8
2	Kemudahan Produksi dan Perakitan	0.15	6	0.9	5	0.75	7	1.05	6	0.9	6	0.9	6	0.9
3	Efek Terhadap Sistem Keseluruhan	0.25	7	1.75	5	1.25	6	1.5	7	1.75	7	1.75	5	1.25
4	Akurasi dan Efektifitas	0.15	6	0.9	6	0.9	6	0.9	8	1.2	7	1.05	7	1.05
5	Daya Tahan	0.15	7	1.05	7	1.05	7	1.05	7	1.05	7	1.05	7	1.05
6	Perawatan	0.10	5	0.5	6	0.6	7	0.7	7	0.7	5	0.5	5	0.5
Jumlah		1.00	5.901		5.7495		6.6		7.3985		6.849		5.551	
Peringkat			4		5		3		1		2		6	

Dari hasil evaluasi penilaian, didapatkan varian 4 adalah varian yang memiliki nilai VW terbesar, dengan penjelasan sbb:

- Mekanisme Kerja Mesin:
 - Pada posisi awal, mesin berhenti dan stator dalam posisi mengembang.
 - Pada saat stator ditutup (tidak mengembang) terjadi interaksi antara magnet pada rotor dan stator yang akan memutar piringan yang terhubung dengan poros.
 - Saat putaran terjadi, governor akan ikut berputar dan membuat bandul menarik governor agar mengembang yang akan menarik stator agar menjauhi rotor pada kecepatan putaran tinggi yang mengakibatkan putaran mesin menurun dan menjadi stabil.

- Desain Mesin:



Gambar. 3 Hasil Desain Mesin

IV. KESIMPULAN

- a. Sistem penggerak menggunakan magnet neodmium n52 yang mempunyai gaya tolak menolak antara 0.1 sampai 3.5 N dari jarak antara kedua magnet sebesar 30 – 5 mm
- b. Sistem penggerak squid engine menggunakan mekanisme governor sentrifugal untuk mengontrol jarak antara stator dan rotor agar putaran mesin dapat terus stabil.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] VDI 2221. "Design Handbook 2221, Systematic Approach to the Development and Design of technical Systems and Products." (1993).
- [2] Jänsch, J., and H. Birkhofer. "The development of the guideline VDI 2221-the change of direction." In DS 36: Proceedings DESIGN 2006, the 9th International Design Conference, Dubrovnik, Croatia. 2006.

RANCANG BANGUN SIMULATOR SISTEM PROTEKSI LNG STORAGE TANK SYSTEM

Anisa Dwi Kartikasari¹; Ummi Mas'adah²; Kusnadi³; Ahmad Fadhil Reviansyah⁴; Widhi Yoga⁵

^{1,2,3}Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

^{4,5}LNG Academy, PT Badak NGL
anisadwi162@gmail.com

Abstrak

Tangki penyimpanan atau storage tank menjadi bagian yang penting dalam suatu proses industri kimia karena tangki penyimpanan tidak hanya menjadi tempat penyimpanan bagi produk dan bahan baku tetapi juga menjaga kelancaran ketersediaan produk dan bahan baku serta dapat menjaga produk atau bahan baku dari kontaminan. Salah satu jenis tangki penyimpanan yang ada pada PT Badak NGL adalah LNG Storage Tank yang. Sistem ini menjadi sangat penting karena setiap kegagalan yang terjadi akan sangat berbahaya karena LNG merupakan fluida yang mudah menguap di udara maka tidak heran jika pada setiap tangki dilengkapi dengan sistem proteksi bertingkat untuk setiap kemungkinan bahaya yang terjadi. Untuk itu dibuatlah sebuah simulator yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk menunjukkan setiap logic pengaman untuk kegagalan pada LNG Storage Tank System. Rancang bangun simulator sistem proteksi LNG Storage Tank System ini mengadaptasi sistem kilang PT Badak NGL sesuai dengan manual book perusahaan dengan penyesuaian tertentu. Variabel yang disimulasikan adalah level dan tekanan, dengan beberapa komponen pendukung yang merepresentasikan alat-alat asli pada sistem. Beberapa sensor digunakan sebagai penunjang sequences yang dijalankan pada simulator. Berdasarkan hasil pengujian simulator, untuk variabel level dan tekanan. Kondisi bottom fill pada LSSL, LSH-01, LSH-02, LSHH untuk temperatur < 40 maka heater 1 dan 2 akan menyala, SV-01 dan SV-04 akan terbuka, dan motor 1 akan bekerja. Kondisi top fill pada LSSL, LSH-01, LSH-02, LSHH untuk temperatur > 40 maka heater 1 dan 2 mati, SV-01 dan SV-04 akan terbuka, dan motor 1 akan bekerja. Kondisi pressure PSH-01 valve yang terbuka adalah SV-06, saat PSH-02 valve yang terbuka adalah SV-06, dan SV-07, saat PSHH valve yang terbuka adalah SV-06, SV-07, dan SV-08.

Kata kunci : Simulasi, tangki LNG, PLC, pompa, sensor level, sensor tekanan

Abstract

Storage tank is an important part of a chemical industry process because storage tanks not only provide storage for products and raw materials but also maintain the availability of products and raw materials and can safeguard products or raw materials from contaminants. One of the existing storage tanks in PT Badak NGL is the LNG Storage Tank. This system becomes very important because any failure that occurs will be very dangerous because LNG is a volatile fluid. That is the reason why in each tank is equipped with a multi-level protection system for every possible failure that occurs. A simulator can be used as a learning tool to learn protection logic design for each failure in the LNG Storage Tank System. The design of this simulator adapts the original system of PT Badak NGL manual book with certain adjustment. The simulated variables are levels and pressures, with some supporting components as a representation of the original equipment in the system. Some sensors are used to support sequences that run on the simulator. Based on the simulator test results, for level and pressure variables. The bottom fill conditions on LSSL, LSH-01, LSH-02, LSHH for temperature <40 then heater 1 and 2 will light, SV-01 and SV-04 will open, and motor 1 will work. Top fill condition on LSSL, LSH-01, LSH-02, LSHH for temperature > 40 then heater 1 and 2 die, SV-01 and SV-04 will open, and motor 1 will work. The open PSH-01 valve pressure condition is SV-06, when the open PSH-02 valve is SV-06, and SV-07, when the open PSHH valve is SV-06, SV-07, and SV-08.

Keywords : Simulation, LNG tank, PLC, pump, level sensor, pressure sensor

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Program LNG Academy berada dibawah naungan Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Konversi Energi yang memiliki 3 jenis peminatan, yakni: Teknik Pengolahan Gas dan Teknik Perawatan Kilang. Untuk teknik perawatan kilang sendiri terbagi lagi menjadi Mekanikal Rotating, dan Listrik Instrumentasi. Peminatan Teknik Perawatan Kilang bertujuan untuk mempersiapkan sumber daya manusia yang profesional dan kompeten dalam bidang perawatan (*maintenance*) kilang LNG yang mampu merancang bangun, mengawasi, memperbaiki, dan *operation test commissioning* sesuai dengan spesialisasi masing-masing. Lulusan LNG Academy memiliki kesempatan untuk mengisi posisi sebagai pelaksana di industri LNG maupun perusahaan manufaktur.

Guna mewujudkan tujuan peminatan Teknik Perawatan Kilang, diperlukan sebuah alat praktikum yang dapat mempermudah proses belajar dan mengajar untuk kedua spesialisasi yakni Mekanikal Rotating dan Elektrik Instrumentasi. Alat ini berupa Simulator Sistem Proteksi LNG *Storage Tank* dengan berbasis Programmable Logic Controller atau PLC. Fasilitas praktikum ini diharapkan mampu membuat mahasiswa lebih mengenal secara detail alat-alat mekanik, kelistrikan, dan instrumentasi yang notabene banyak digunakan pada industri-industri baik migas ataupun non-migas. Adapun pada kesempatan kali ini kelompok kami akan membuat Simulator Sistem Proteksi tangki LNG dengan menjadikan tangki LNG PT Badak NGL sebagai acuan tugas akhir kami dengan beberapa penyesuaian.

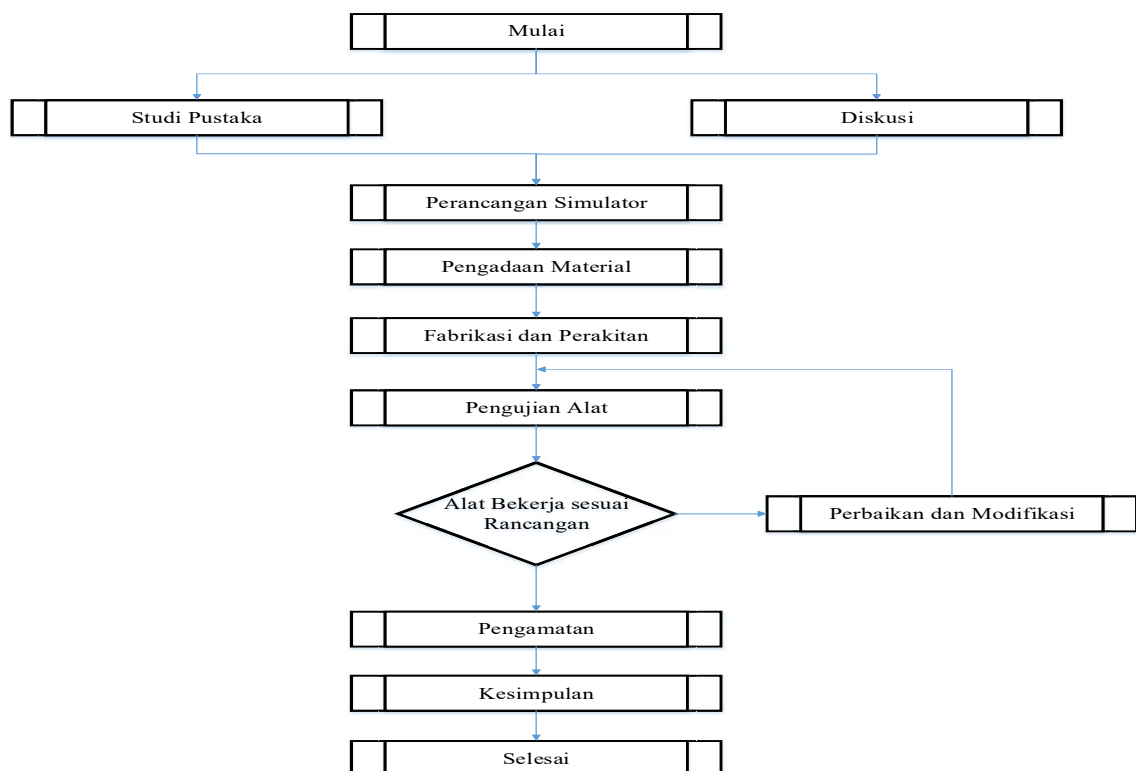
1.2 Tujuan

Tujuan dari proyek ini adalah :

- Mampu melakukan rancang bangun sebuah Simulator Sistem Proteksi LNG *Storage Tank* yang merupakan tugas akhir mahasiswa
- Untuk mengetahui proses pengisian tangki dengan kondisi masukan yang berbeda dari kondisi fluida dalam tangki.
- Untuk mengetahui langkah apa saja yang dapat dilakukan untuk membuat kondisi di dalam tangki tetap berada pada batas aman yang diizinkan apabila terjadi perubahan level dan pressure

II. METODOLOGI PELAKSANAAN

Simulator ini dirancang dan dibuat berdasarkan diagram alir berikut :



2.1 Deskripsi Proses

Alat ini merupakan Simulator Sistem Proteksi LNG *Storage Tank* pada Plant 24 PT Badak NGL yang akan didemonstrasikan menggunakan fluida kerja berupa air. Pemilihan air sebagai media kerja pengganti LNG memiliki beberapa pertimbangan yaitu:

- Tujuan yang ingin dicapai dari pembuatan tugas akhir adalah mendemonstarikan sistem proteksi dari LNG *Storage Tank* sehingga fluida yang digunakan tidak harus memiliki spesifikasi yang mirip dengan LNG.
- Air lebih aman dalam penggunaan simulasi, karena ketersediaannya yang melimpah dan tidak flammable sehingga untuk pemilihan alat instrument tidak memerlukan spesifikasi khusus dalam proteksinya.

Berikut uraian proses yang ditinjau dari:

Simulator Sistem Proteksi LNG *Storage Tank* terdiri dari dua simulasi yaitu, simulasi variabel *pressure* yang akan menunjukkan tindakan jika terjadi *high pressure* dalam sistem dan yang kedua adalah simulasi variabel level dan tindakan sistem jika terjadi *high level* serta *low level*.

Simulasi Pressure

A. Pra-Simulasi Pressure

Sebelum memulai simulasi sistem, yang pertama kali harus dilakukan adalah mengisi vessel utama (1D-1) dengan fluida kerja hingga melewati level switch LSH-01. Hal ini dilakukan untuk mempersiapkan simulasi pressure terlebih dahulu.

B. Simulasi Pressure

Untuk memulai simulasi pressure, yang pertama kali harus dijalankan adalah *heater* vessel utama (1D-1) dengan menekan *push button* pada panel. Namun harus dipastikan bahwa semua aliran pipa telah tertutup sehingga *high-pressure* dapat tercapai. Dibutuhkan beberapa waktu untuk menghasilkan uap. Uap yang terbentuk dari proses ini merupakan representasi dari BOG (*Boiled Off Gas*.) Secara Proses LNG *Storage Tank* akan selalu menghasilkan BOG. Pada simulasi ini jika BOG telah mencapai setting PSH-01 maka SV-05 akan terbuka dan uap akan dilepaskan ke lingkungan. Hal tersebut merupakan representasi dari sistem BOG Plant 24. Pada sistem BOG, Boil-off Gas Compressor (BOG Compressor) berfungsi untuk menjaga atau tekanan vessel dengan cara menghisap Boil Off Gas yang terbentuk dari dalam vessel LNG agar tidak melampaui setting pressure-nya dan mengalirkannya ke fuel gas system sebagai bahan bakar boiler. Tujuan dari proses tersebut adalah untuk menjaga tekanan vessel LNG agar tetap sesuai dengan tekanan operasional vessel dan tidak melebihi set-point nya.

Untuk menyimulasikan kenaikan pressure pada vessel, *heater* dibuat tetap menyala. Seiring dengan panas yang terus dihantarkan oleh *heater*, pressure pada vessel akan terus naik hingga mencapai setting PSH-02 yang akan membuka SV-06 untuk menyimulasikan sistem flare. Hal ini merupakan representasi sistem BOG ketika BOG Compressor gagal atau tidak mampu menjaga tekanan di dalam vessel atau karena hal lain, maka Boil Off Gas yang terbentuk akan dialirkan ke flare 19F-2/5/26 atau 19F-36 untuk dibakar.

Jika pressure terus naik hingga mencapai setting PSHH, maka SV-07 akan terbuka sebagai representasi PSV. Secara proses, PSV sesungguhnya bekerja secara mechanical melalui mekanisme pegas. Namun karena keterbatasan jenis PSV dengan range pressure sesuai spesifikasi yang kami inginkan sehingga kami menggunakan *solenoid valve*. Pada Plant 24, PSV akan popping atau aktif karena adanya tekanan berlebih di dalam vessel melewati set-point dari PSV tersebut. Kelebihan tekanan dapat disebabkan diantaranya oleh temperatur produk yang agak panas. Temperatur tersebut menyebabkan banyaknya terbentuk BOG yang tidak dapat ditangani oleh BOG compresor ataupun tidak mampu dibuang ke flare. Kejadian popping ini bisa terjadi karena tekanan sudah mencapai set-point PSV tersebut.

Simulasi Level

A. Pra-Simulasi Level

Sebelum memulai simulasi sistem, yang pertama kali harus dilakukan adalah mengisi vessel utama (1D-1) dengan fluida kerja hingga melewati level switch LSH-01. Hal ini dilakukan untuk mempersiapkan simulasi pemilihan jalur pengisian vessel dengan membandingkan temperatur fluida sebelum masuk vessel utama dengan fluida dalam vessel.

B. Simulasi Level

Untuk memulai simulasi level, yang pertama kali harus dijalankan adalah *heater* vessel utama (1D-1) dengan menekan *push button* pada panel. Hal ini dilakukan untuk menyimulasikan proses LNG *filling*. Pada Plant 24, Setiap vessel LNG dilengkapi 2 buah valve rundown yang disebut dengan valve rundown Top Fill dan valve rundown Bottom Fill. Secara umum, penyimpanan produk LNG ke dalam vessel penampung dilakukan dari bagian atas vessel. Namun pada kasus tertentu, pengisian dilakukan dari bagian bawah vessel. Pengisian dari atas (Top Fill) dilakukan jika produk rundown lebih berat dan lebih hangat bila dibandingkan dengan LNG dalam vessel dan pengisian dari bawah (Bottom fill) dilakukan jika produk rundown lebih

ringan dan lebih dingin daripada LNG dalam vessel. Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya stratification. Stratification ini dapat menyebabkan roll over di dalam vessel LNG.

Pengaturan kerangan rundown bagian atas (Top Fill rundown valve) berhubungan dengan pengaturan kerangan rundown bagian bawah (Bottom Fill rundown valve). Jika valve bagian bawah tertutup, valve bagian atas harus dalam posisi terbuka, dan juga berlaku sebaliknya.

Pada simulasi kali ini variable yang menjadi penentu bukaan valve adalah temperatur fluida saja karena fluida kerja yang digunakan adalah air sehingga densitas fluida cenderung sama. Dengan menyalakan *heater* pada vessel utama (1D-1) temperatur fluida dalam vessel akan naik dari temperatur normalnya. Hal ini menyebabkan fluida yang dipompa masuk ke vessel utama menjadi lebih rendah temperaturnya dari fluida dalam vessel sehingga fluida akan mengisi vessel melalui Bottom Fill rundown valve atau SV-0.

Pada saat simulasi berlangsung *heater* pada *reservoir* akan dinyalakan untuk menaikkan temperatur fluida masukan menuju vessel utama. *Heater* pada vessel utama dimatikan dengan menekan *push button* sehingga fluida yang akan masuk pada vessel utama (1D-1) akan lebih hangat dari fluida dalam vessel. Fluida hangat yang akan masuk dalam tangki utama (1D-1) akan melewati jalur Top Fill rundown valve dan membuka SV-0.

Selanjutnya, fluida akan mengisi vessel hingga mencapai setting LH-. Saat setting LH- tercapai lampu pada panel akan menyala sebagai peringatan pada operator bahwa vessel sudah berada pada kondisi operasi pengisian maksimum dan memberikan peringatan untuk segera memindahkan aliran rundown ke vessel yang lain.

Vessel yang telah mencapai kondisi maksimum operasinya akan diprioritaskan untuk mengisi loading kapal.

III. REALISASI ALAT

3.1 Perhitungan Perancangan Alat

- Perhitungan kapasitas vessel simulator

Basis Perhitungan :

Jari-jari dalam (r)	= 7,2 in
Tinggi vessel (t)	= 23,7 in
Tinggi kapasitas kerja	= 20,5 in

- Kapasitas desain vessel:

Volume	
Volume	
Volume	= 3857,8 in ³ = 0,06 m ³

- Kapasitas kerja vessel:

Volume	
Volume	
Volume	= 3336,9 in ³ = 0,05 m ³

- Perhitungan Laju Penguapan Fluida

Basis Perhitungan :

Jenis fluida	= Air
Fase	= Cair
Massa jenis (m)	= 1000 kg/m ³
Panas Spesifik (c)	= 4,2 kJ/kgC
Panas Laten	= 226000 J/kg
Temperatur awal fluida (T1)	= 40°C
Temperatur akhir fluida (T2)	= 120°C

- Perhitungan Nilai Kalor

$$Q = m_{total} \cdot c \cdot \Delta T + m_{diuapkan} \cdot L$$

$$Q = 22,9 \times 4,2 \times (120 - 45) + 22,9 \times 226000$$

12,83 x 10⁶ Joule

b. Perhitungan Waktu Pemanasan

$$P = \frac{Q}{t} \approx t = \frac{Q}{P}$$

$$t = \frac{12,83 \times 10^6 \text{ watt}}{3000}, \text{ W didapatkan dari daya heater}$$

$$t = 4276,6 \text{ s} \approx 72 \text{ menit}$$

c. Perhitungan Tekanan yang Terbentuk

Dengan m = 22,9 kg, vol = 0,062 m³, t_{final} = 120°C

$$V = \frac{V_{tot}}{m} = \frac{0,062}{22,9} = 0,0027 \text{ m}^3/\text{kg}, \text{ maka pada steam table didapatkan } P = 1,98 \text{ bar.}$$

Untuk memprediksi besarnya *build up pressure* yang akan terbentuk dalam vessel hal pertama yang harus dijaga adalah suhu yang akan dipertahankan oleh heater. Dengan alasan bahwa air mendidih dan menghasilkan uap pada suhu 100°C dengan tekanan 1 kg/cm² dan ada tiga tingkatan set point yang diharapkan dapat dicapai oleh steam pada *pressure switch*. Maka asumsi set point suhu yang harus dipertahankan oleh heater harus melebihi 100°C sehingga pada simulasi kali ini diambil suhu 120°C sebagai set point dengan pertimbangan bahwa spesifikasi komponen yang digunakan memiliki batas maksimum suhu pada 125°C.

- Perhitungan Tebal Vessel Simulator

Untuk perhitungan tebal vessel digunakan standart ASME untuk Boiler & Pressure Vessel Section VIII Division I. Standar ini dipilih untuk perancangan vessel dengan tekanan 15 psi < P ≤ 3000 psi. Standar ini digunakan dalam penyimpanan produk minyak bumi, dan produk cair lainnya yang biasanya ditangani dan disimpan oleh berbagai cabang industri.

Basis Perhitungan :

Material	= Carbon Steel A 106 Gr B
Temperatur desain	= 248°F = 120°C
Tekanan internal desain (P)	= 29,4 psi = 2 kg/cm ²
Jari-jari dalam (R)	= 7,2 in.
Faktor kualitas sambungan (E)	= 1
Tegangan izin material (S)	= 60.000 psi (from ASME II Part D)
Batas korosi yang diizinkan (CA)	= 0.125 in.

a. Ketebalan desain (t)

$$t = \frac{PR}{SE - 0,6P}$$

$$t = \frac{29,4 \times 7,2}{60.000 \times 1 - 0,6 \times 29,4}$$

$$t = 0,0035 \text{ in}$$

b. Ketebalan minimum (t_{req})

$$t_{req} = t + CA$$

$$t_{req} = 0,0035 + 0,125$$

$$t_{req} = 0,129 \text{ in}$$

c. Ketebalan nominal (t_{nominal})

$$t_{nominal} = 0,844 \text{ in}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa tebal vessel yang digunakan memiliki nilai diatas tebal minimum vessel dari rumus diatas.

Perhitungan MAWP Vessel\

Basis Perhitungan :

Material	= Carbon Steel A 106 Gr B
----------	---------------------------

Temperatur desain	= 248°F = 120°C
Tekanan internal desain (P)	= 29,4 psi = 2 kg/cm ²
Jari-jari dalam (R)	= 7,2 in.
Faktor kualitas sambungan (E)	= 1
Tegangan izin material (S)	= 60.000 psi (from ASME II Part D)
Batas korosi yang diizinkan (CA)	= 0.125 in.

Perhitungan MAWP vessel

$$\text{MAWP} = \frac{S \times E \times t}{R + 0.6t}$$

$$\text{MAWP} = \frac{60.000 \times 1 \times 0,844}{7,2 + 0,6 \times 0,844}$$

MAWP = 6571,16 psi = 462 kg/cm

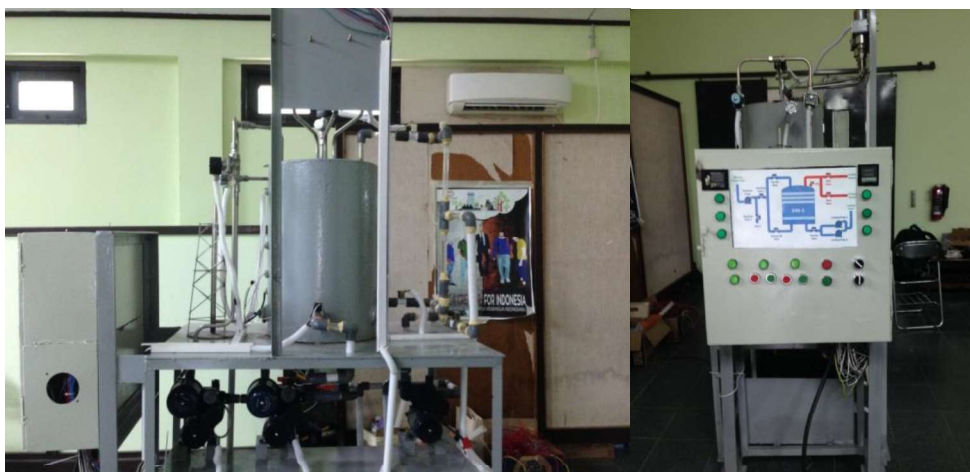
Sehingga dari hasil perhitungan didapatkan bahwa MAWP vessel yang digunakan memiliki nilai diatas tekanan kerja vessel.

3.2 Pemilihan Alat

Berikut peralatan instrumentasi dan kelistrikan yang dipilih berdasarkan rancangan yang akan dibuat :

No.	Equipment	Jumlah (ea)
1	PLC OMRON	1
2	Level switch side mounting type	7
3	Pressure switch (0,69– 5,2 bar)	3
4	Thermocouple (K type)	2
5	Thermocontroller	2
6	Solenoid valve	8
7	Motor pump	3
8	Heater (1500 W)	4
9	Relay DPDT	7
10	Relay 4PDT	4
11	Circuit Breaker	11
12	Kontaktor	6
13	Lampu indikator	21
14	Push button	6
15	Selector switch	2
16	DC Power Supply	2

3.3 Spesifikasi Alat



Gambar.1 Simulator Sistem Proteksi LNG Storage Tank System

Spesifikasi umum simulator :

Kapasitas rundown	0,051 m ³
Specific gravity dari oli	1000 kg/m ³
Jumlah pompa	3 unit
Penggerak pompa	Motor 220V AC, 50 Hz, single phase
Kapasitas alir pompa	16 l/menit
Daya operasi	4906 W
Daya maksimum	8646 W
Jumlah sensor tekanan	3 unit
Jumlah sensor level	7 unit
Jumlah sensor temperature	2 unit
Jumlah alat ukur tekanan	1 unit

3.4 Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan kerja simulator. Pengujian kali ini terbagi menjadi dua simulasi, simulasi level dan simulasi tekanan. Pada pengujian tersebut hasil akhir yang ingin dicapai adalah berjalannya sequence dari proses control simulator sesuai logic yang telah dirancang.

A. Hasil Pengujian Simulasi Level

1. Top Filling

No.	Level	Temperature Basin	Tinggi (cm)	Solenoid Valve								Motor Pompa			Heater Basin		Lampu indikator		Keterangan	
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	1	2	LED	LED Strip		
1	LSLL	T < 40	15	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
2	LSH-01		22	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	Loading GM-2A
	LSH-02			1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	Loading GM-2B	
3	LSH-02		32	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	
4	LSHH	52	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1		

2. Bottom Filling

No.	Level	Temperature Basin	Tinggi (cm)	Solenoid Valve								Motor Pompa			Heater Basin		Lampu indikator		Keterangan	
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	1	2	LED	LED Strip		
1	LSLL	T >= 40	15	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
2	LSH-01		22	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	Loading GM-2A
				0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	Loading GM-2B
3	LSH-02		32	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1		
4	LSHH	52	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		

B. Hasil Pengujian Simulasi Tekanan

No	Level Basin	Tinggi (cm)	Heater Tangki		Pressure (kg/cm ²)	Solenoid Valve								Lampu Indikator				
			1	2		1	2	3	4	5	6	7	8	LED	LED Strip			
1	PSH-01	22	1	1	1,1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1
2	PSH-02		1	1	1,3	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1
3	PSHH		1	1	1,5	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1

3.5 Analisa Hasil Pengujian Sistem Kontrol

A. Simulasi Level

1. Top Filling

No.	Level	Temperature Basin	Tinggi (cm)	Solenoid Valve								Motor Pompa			Heater Basin		Lampu indikator		Keterangan
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	1	2	LED	LED Strip	
1	LSLL	T < 40	15	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
2	LSH-01		22	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	Loading GM-2A
	LSH-01			1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0	1	Loading GM-2B
3	LSH-02		32	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	
4	LSHH		52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	

2. Bottom Filling

No.	Level	Temperature Basin	Tinggi (cm)	Solenoid Valve								Motor Pompa			Heater Basin		Lampu indikator		Keterangan
				1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	1	2	LED	LED Strip	
1	LSLL	T >= 40	15	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
2	LSH-01		22	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	Loading GM-2A
				0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	Loading GM-2B
3	LSH-02		32	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
4	LSHH		52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

Terdapat perbedaan kerja output aktual dengan output yang diinginkan, hal ini dapat dilihat pada logic untuk solenoid valve, dimana SV 3 selalu menunjukkan angka 1. Dari hal tersebut kemudian dilakukan analisa mengenai apa yang menyebabkan SV 3 selalu 1. Untuk mengetahui letak error pada simulator maka dilakukan beberapa langkah troubleshooting sebagai berikut;

1. Melihat kembali ladder diagram yang telah dibuat, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui input apa yang membuat SV 3 selalu terbuka.
2. Setelah mengetahui kemungkinan penyebab kesalahan input, maka lakukan uji pada masing-masing input dalam hal ini adalah *level switch*.
3. Kosongkan isi tangki, hal ini dimaksudkan untuk mengecek kondisi operasi pada *level switch*. *Level switch* yang dioperasikan secara NO maka seharusnya tidak memberikan input ketika tangki kosong.
4. Cek lampu indikator pada input PLC. Lampu input PLC harus mati. Jika terdapat lampu yang masih menyala maka terdapat kemungkinan input tersebut yang bermasalah.
5. Lepas kabel input dan lakukan pengecekan kembali pada lampu input PLC. Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa kesalahan tidak terdapat pada PLC melainkan dari *input field*.
6. Cek *continuity* pada *level switch* yang memberikan fungsi 1 pada PLC.

Setelah langkah-langkah tersebut dilakukan maka di dapatkan hasil bahwa terdapat kerusakan pada *level switch* ketiga (LSH-02) dimana dalam fungsinya dia berperan sebagai input untuk keadaan *emergency inventory* pada tangki utama.

Setelah dilakukan perbaikan maka didapatkan fungsi sebagaimana mestinya yaitu:

1. Ketika dilakukan *top filling* maka SV yang bekerja adalah SV 2 dan SV 4. Pompa motor 1 bekerja dan heater pada basin OFF.
2. Ketika dilakukan *bottom filling* maka SV yang bekerja adalah SV 1 dan SV 4. Pompa motor 1 bekerja dan heater pada basin ON.
3. Ketika kondisi LSLL baik melalui *top/bottom filling* maka lampu indikator akan menyala.
4. Ketika kondisi LSH-01 baik melalui *top/bottom filling* maka lampu indikator akan menyala dan simulasi *loading* dapat dilakukan dengan menghidupkan salah satu pompa motor *loading*.
5. Ketika kondisi LSH-02 baik melalui *top/bottom filling* maka lampu indikator akan menyala dan simulasi *emergency inventory* dapat berlangsung dengan membukanya SV 3 yang menuju ke tangki lainnya.
6. Ketika kondisi LSHH baik melalui *top/bottom filling* maka lampu indikator akan menyala dan terjadi simulasi *overflow* dimana tindakan yang dilakukan adalah matinya pompa motor *rundown* secara otomatis.

B. Simulasi Tekanan

No	Level Basin	Tinggi (cm)	Heater Tangki		Presssure (kg/cm ²)	Solenoid Valve						Lampu Indikator		
			1	2		1	2	3	4	5	6	7	8	LED
1	PSH-01	22	1	1	1,1	0	0	0	0	1	0	0	1	1
2	PSH-02		1	1	1,3	0	0	0	0	1	1	0	1	1
3	PSHH		1	1	1,5	0	0	0	0	1	1	1	1	1

Berdasarkan hasil percobaan dengan desain yang kami buat dapat diketahui bahwa simulasi tekanan berhasil dilakukan dengan hasil kerja sebagai berikut :

1. Ketika tekanan dalam tangki menyentuh *set point* sebesar 1,1 kg/cm² maka SV 6 akan terbuka. Simulasi ini ditunjukkan dengan menyalanya lampu indikator pada panel.
2. Ketika tekanan dalam tangki menyentuh *set point* sebesar 1,3 kg/cm² maka SV 6 dan 7 akan terbuka. Simulasi ini ditunjukkan dengan menyalanya lampu indikator pada panel.
3. Ketika tekanan dalam tangki menyentuh *set point* sebesar 1,5 kg/cm² maka SV 6, 7 dan 8 akan terbuka. Simulasi ini ditunjukkan dengan menyalanya lampu indikator pada panel.

IV. KESIMPULAN

- a. Variabel level dan tekanan dengan fluida air digunakan untuk simulator sistem *storage tank*.
- b. Kondisi bottom fill pada LSH-01, LSH-02, LSHH untuk temperatur < 40 maka heater 1 dan 2 akan menyala, SV-01 dan SV-04 akan terbuka, dan motor-pompa 1 akan bekerja.
- c. Kondisi top fill pada LSH-01, LSH-02, LSHH untuk temperatur >= 40 maka heater 1 dan 2 mati, SV-01 dan SV-04 akan terbuka, dan motor –pompa 1 akan bekerja.
- d. Kondisi pressure PSH-01 valve yang terbuka adalah SV-06, saat PSH-02 valve yang terbuka adalah SV-06, dan SV-07, saat PSHH valve yang terbuka adalah SV-06, SV-07, dan SV-08

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bryan, L.A. dan Bryan, E.A, “Programmable Controllers Theory Ana Implementation”, United States of America, 1997
- [2] Badan Standarisasi Nasional, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)”, Jakarta, Yayasan PUIL: 2000.
- [3] NEMA. Electrical Standard & Product Guide. 2015.
- [4] Sularso dan Haruo Tahara, “Pompa dan Kompresor”, Jakarta, PT. Pradnya Paramita: 1986.

RANCANG BANGUN PROTOTIPE MOBIL KIMIA DENGAN SUMBER ENERGI H₂O₂

Arif Gunawan¹, Kenny Ramis¹, Muslimin¹, Nisa Finidhama P.²

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof.Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI
Depok 16425

²⁾ PT. Badak LNG, 75324, Kota Bontang, Kalimantan Timur.

Email: kennyramis16@gmail.com; muslimin@mesin.pnj.ac.id

Abstrak

Sumber-sumber energi alternatif perlu dikembangkan karena ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah energi kimia. Energi kimia adalah energi yang dihasilkan dari reaksi kimia. Tujuan penelitian ini mengembangkan sumber energi dari reaksi kimia hidrogen peroksida yang digunakan untuk menggerakkan prototipe mobil. Hidrogen peroksida didekomposisikan dengan menggunakan katalis berupa besi (III) klorida dan menghasilkan produk berupa air dan oksigen. Gas oksigen hasil reaksi yang ditampung dalam bejana tekan akan digunakan untuk menggerakkan pneumatic cylinder pada prototipe mobil. Volume hidrogen peroksida dalam silinder dievaluasi terhadap jarak tempuh dalam keadaan tanpa beban maupun saat berbeban. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan volume hidrogen peroksida yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 25m dalam keadaan mobil tanpa beban adalah 61,64ml. Hasil pada kondisi berbeban sebesar 10% dari massa mobil dibutuhkan 61,7ml dan pada kondisi beban sebesar 20% dari massa mobil dibutuhkan 62,59ml.

Kata kunci: prototipe mobil, hidrogen peroksida, besi (III) klorida, dekomposisi.

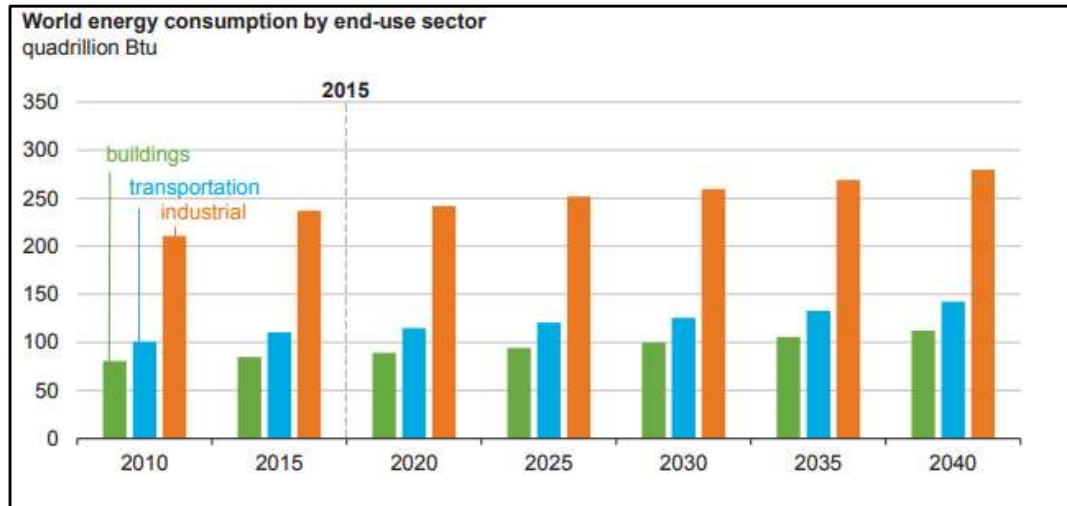
Abstract

Alternative sources of energy need to be developed because of limited fossil materials. One of the alternative energy is chemical energy. Chemical energy produced by chemical reactions. This study aims to develop energy from the decomposition of hydrogen peroxide to drive the prototype car. Hydrogen peroxide is decomposed by using a catalyst of iron (III) chloride and producing air and oxygen. The oxygen gas from the reaction collected in the vessel then will be utilized to drive the pneumatic cylinder on the prototype car. The volume of hydrogen peroxide in the cylinder is evaluated against mileage in no-load as well as with-load conditions. The result shows that the volume of hydrogen peroxide required 61,64ml in volume to travel 25m distance of prototype car under no-load condition. Furthermore, to travel the equal distance with 10% and 20% load of prototype car mass, it needs 61,7ml and 62,58ml respectively.

Keywords: prototype car, hydrogen peroxide, iron (III) chloride, decomposition.

I. PENDAHULUAN

Jumlah populasi penduduk dunia yang meningkat dari waktu ke waktu berbanding lurus dengan terus meningkatnya kebutuhan sumber energi. Sektor transportasi merupakan salah satu sektor dengan kebutuhan energi yang besar[1].



Gambar 1. Konsumsi Energi Dunia[1]

Sumber-sumber energi alternatif perlu dikembangkan karena ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas. Ada beberapa energi alternatif untuk bahan bakar kendaraan yang sudah digunakan seperti etanol, biodiesel, gas alam dan listrik[2]. Beberapa sumber energi alternatif tersebut belum dapat menggantikan sumber energi fosil, sehingga masih perlu mencari dan mengembangkan sumber energi alternatif lainnya. Salah satu sumber energi tersebut adalah dari reaksi kimia. Dalam penelitian ini, sumber energi kimia yang berasal dari reaksi dekomposisi hidrogen peroksida (H_2O_2) dengan katalis besi (III) klorida ($FeCl_3$) dikembangkan. Dalam reaksi ini, H_2O_2 terdekomposisi menjadi H_2O (Air) dan O_2 (Oksigen) [3]. Oksigen yang dihasilkan disimpan dalam bejana tekan untuk meningkatkan tekanan. Tekanan tersebut akan digunakan untuk menggerakkan prototipe mobil (*Chem-E-Car*) melalui mekanisme perubahan tekanan menjadi gerak translasi pada *pneumatic cylinder*. Prototipe mobil (*Chem-E-Car*) yang dirancang bangun tersebut telah dilombakan pada “Indonesia Chem-E-Car Competition (ICECC) 2018”.

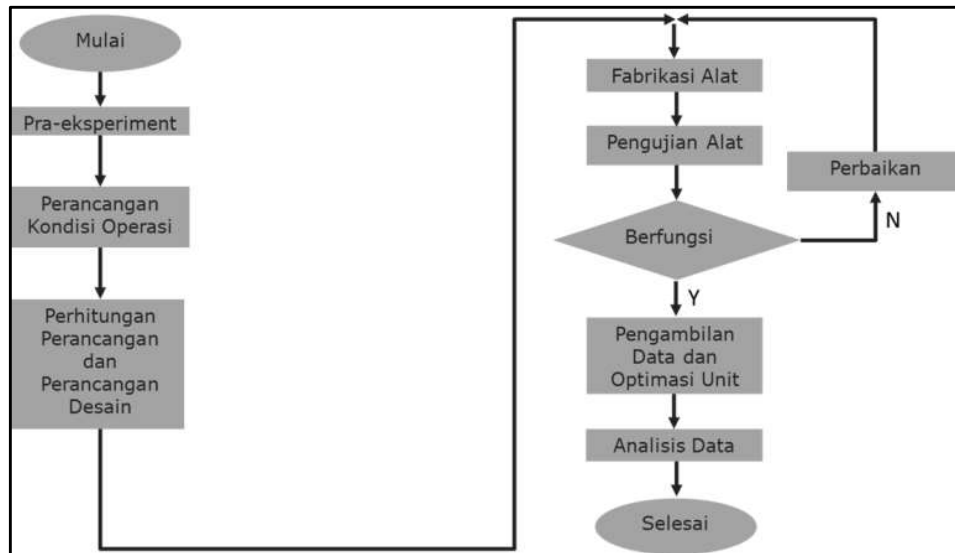
Tujuan riset ini adalah sebagai berikut: membuat rancang bangun prototipe mobil dengan sumber energi reaksi dekomposisi hidrogen peroksida, mengetahui pengaruh variabel volume hidrogen peroksida terhadap jarak tempuh mobil dalam keadaan tanpa beban dan mengetahui pengaruh variabel volume hidrogen peroksida terhadap jarak tempuh mobil dalam keadaan terdapat beban.

II. METODE PENELITIAN

Pengujian skala lab perlu dilakukan untuk menentukan konsentrasi katalis yang akan digunakan dan mengukur tekanan aktual yang dihasilkan dari proses dekomposisi. Nilai konsentrasi yang akan diuji adalah 0,1M, 0,5M, dan 1M. Perancangan kondisi operasi dilakukan setelah dilakukan analisa data hasil pengujian skala lab.

Desain dan perhitungan komponen mekanikal dilakukan sesuai dengan kebutuhan kondisi operasi. Software Solid Works digunakan dalam proses desain mekanikal ini. Fabrikasi alat kemudian dilakukan di Workshop Maintenance Badak LNG. Setelah semua komponen prototipe mobil selesai difabrikasi dan dirakit, prototipe mobil kemudian akan diuji dengan variabel volume hidrogen peroksida dan massa beban yang dibawa yaitu 10% dan 20% dari massa total prototipe mobil.

Apabila terjadi kegagalan pada proses pengujian alat maka dilakukan perbaikan ataupun modifikasi alat. Apabila prototipe mobil dapat berjalan maka data yang didapatkan akan dianalisis untuk mendapatkan formula banyaknya volume hidrogen peroksida yang dibutuhkan untuk dapat menempuh jarak tertentu. Diagram alir penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. berikut:



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Reaksi-Reaksi Kimia

Hidrogen peroksida juga dikenal sebagai dihidrogen dioksida, hidrogen dioksida, oksidol dan peroksida dengan rumus kimia H_2O_2 . Hidrogen peroksida adalah zat pengoksidasi yang kuat dan biasa digunakan dalam bentuk larutan sebagai pemutih dan anti-infeksi. Hidrogen peroksida merupakan suatu larutan yang relatif tidak stabil dan terdekomposisi seiring dengan berjalannya waktu. Acetanilide atau bahan organik serupa dapat ditambahkan untuk menstabilkan larutan hidrogen peroksida[7]. Di pasaran, hidrogen peroksida tersedia dalam bentuk aqueous solution yang bersifat sebagai asam lemah, tidak berwarna, tidak berbau dan lebih kental dari air.

Hidrogen peroksida dapat mengalami reaksi dekomposisi sesuai dengan mekanisme[8]:



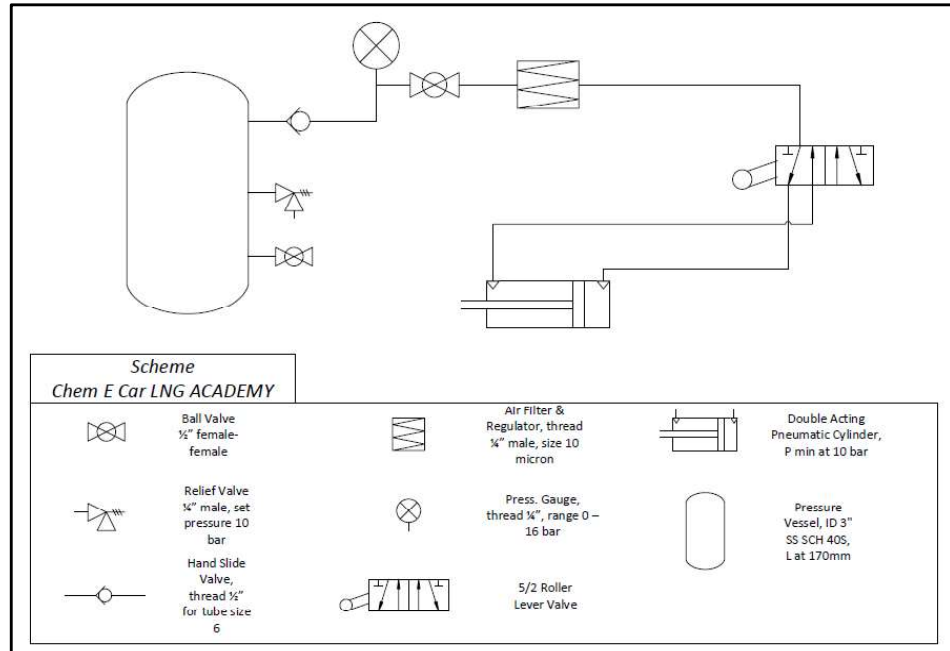
Dari lima variabel volume hidrogen peroksida dan tiga variabel konsentrasi katalis yang digunakan didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Uji Coba

No.	Konsentrasi $FeCl_3$ (M)	Laju Reaksi (M/s)	Rata-rata Waktu Reaksi (s)
1.	0,1	0,13	73,23
2.	0,5	0,24	39,6
3.	1	1,95	5

Dengan mengacu peraturan *Chem-E-Car* yang menyatakan waktu maksimal untuk reaksi adalah satu menit maka penggunaan konsentrasi katalis yang tepat adalah sebesar 0,5M.

3.2 Hasil Rancang Bangun



Gambar 3. Skema mekanik mobil

Rancang bangun prototipe mobil dengan sumber energi alternatif (*Chem-E-Car*) ini terdiri dari beberapa komponen utama yaitu vessel, roller valve, pneumatic cylinder, cam, dan shaft. Adapun gambar lengkap dari rancang bangun ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Prototipe Mobil

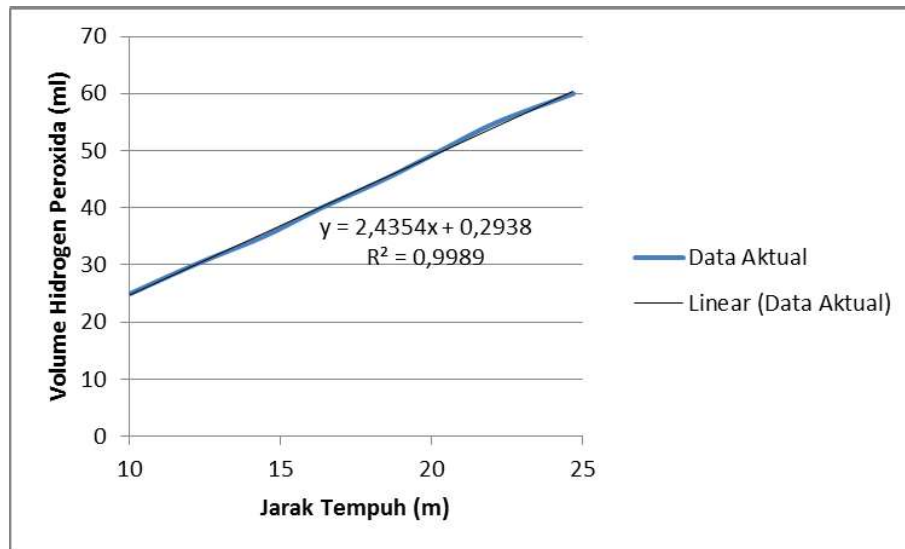
3.2 Data dan Analisis Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan variasi volume hidrogen peroksida dan dalam keadaan tanpa beban yang dibawa oleh prototipe mobil. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Tanpa Beban

No.	Volume hidrogen peroksida (ml)	Tekanan yang dihasilkan (bar)	Jarak tempuh (m)
1.	25	3	10,05
2.	30	3,6	12,15
3.	35	4,2	14,46
4.	40	4,8	16,36
5.	45	5,3	18,45
6.	50	6	20,3
7.	55	6,5	22,17
8.	60	7	24,7

Korelasi volume hidrogen peroksida dengan jarak tempuh prototipe seperti pada Tabel 1 di atas diplot dalam sebuah grafik yang ditunjukkan pada Gambar 2 berikut:

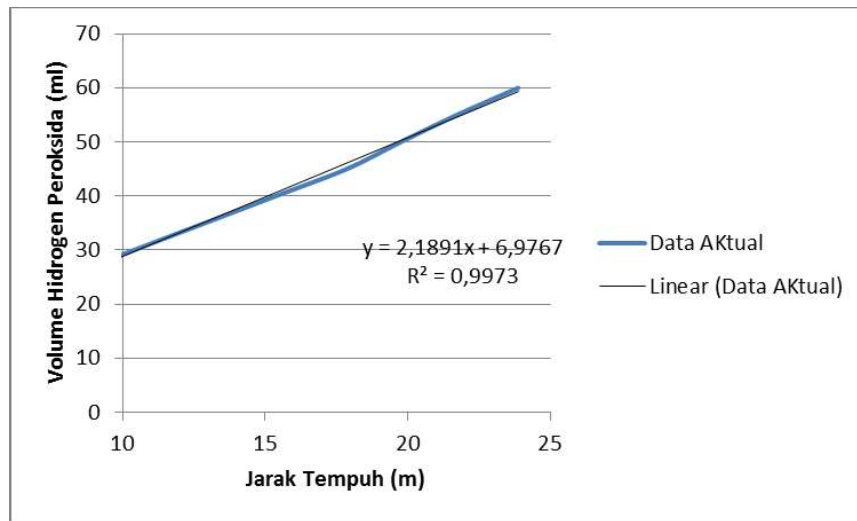


Gambar 5. Grafik Kebutuhan H₂O₂ dalam Keadaan Tanpa Beban

Pengujian juga dilakukan dalam keadaan prototipe mobil dengan beban 10% dan 20% berat mobil untuk mengetahui performa dari mobil yang dibuat. Hasil pengujian dengan beban 10% berat mobil ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 3 berikut:

Tabel 3. Hasil Pengujian dengan Beban 10%

No.	Volume hidrogen peroksida (ml)	Tekanan yang dihasilkan (bar)	Jarak tempuh (m)
1.	25	3	7,95
2.	30	3,6	10,39
3.	35	4,2	12,88
4.	40	4,8	15,37
5.	45	5,3	17,86
6.	50	6	20,35
7.	55	6,5	21,73
8.	60	7	23,88

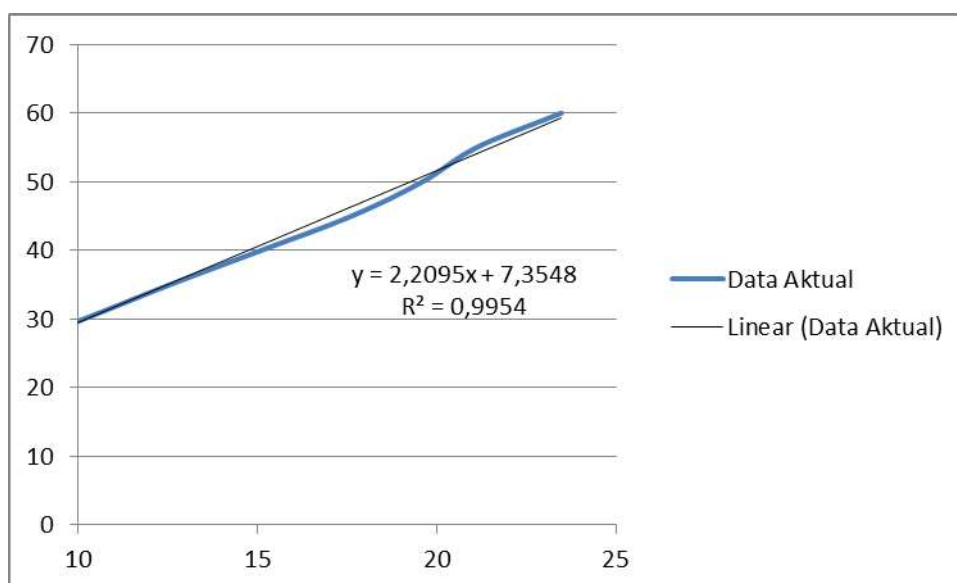


Gambar 6. Grafik Kebutuhan H_2O_2 dalam Keadaan Beban 10%

Hasil pengujian dengan beban 20% berat mobil ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian dengan Beban 20%

No.	Volume hidrogen peroksida (ml)	Tekanan yang dihasilkan (bar)	Jarak tempuh (m)
1.	25	3	7,65
2.	30	3,6	10,15
3.	35	4,2	12,55
4.	40	4,8	15,10
5.	45	5,3	17,62
6.	50	6	19,60
7.	55	6,5	21,11
8.	60	7	23,47



Gambar 7. Grafik Kebutuhan H_2O_2 dalam Keadaan Beban 20%

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan variabel volume hidrogen peroksida dan beban yang dibawa oleh prototipe mobil didapatkan grafik dan formula yang dapat digunakan untuk memprediksi kebutuhan hidrogen peroksida agar prototipe mobil dapat menempuh jarak tertentu.

Dari data aktual yang ada didapatkan hubungan antara volume hidrogen peroksida dengan jarak tempuh prototipe mobil tidak linier sempurna. Hal tersebut dapat disebabkan karena adanya kesalahan pada saat mengambil larutan hidrogen peroksida sehingga terdapat kemungkinan volume hidrogen peroksida yang dimasukkan ke dalam vessel mobil tidak akurat. Kesalahan dalam melakukan pengukuran jarak tempuh prototipe mobil juga dapat menjadi faktor yang menyebabkan data hubungan antara volume hidrogen peroksida dan jarak tempuh prototipe mobil dari hasil pengujian tidak linier.

IV. Kesimpulan

- 1) Rancang bangun prototipe mobil dengan sumber energi hidrogen peroksida telah berhasil direalisasikan.
- 2) Volume hidrogen peroksida (y) yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tertentu (x) dalam keadaan mobil tidak membawa beban dapat diperkirakan dengan formula $y=2,4354x + 0,2938$.
- 3) Volume hidrogen peroksida (y) yang dibutuhkan untuk menempuh jarak tertentu (x) dalam keadaan mobil membawa beban adalah sebagai berikut:
 - a. Dalam keadaan terdapat beban 10%, $y=2,1891x + 6,9767$.
 - b. Dalam keadaan terdapat beban 20%, $y=2,2095x + 7,3548$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. S. E. I. Administration, "International Energy Outlook 2017," ed, 2017.
- [2] EIA. (2017, April 24th, 2018). *Energy Use for Transportation*.
- [3] K. A. Omar, "CATALYTIC DECOMPOSITION OF HYDROGEN PEROXIDE ON MANGANESE DIOXIDE NANOPARTICLES AT DIFFERENT PH VALUES," *IMPACT Journal*, vol. 2, p. 8, 2014.
- [4] T. A. S. o. M. Engineers, "Rules for Construction of Pressure Vessels," in *Division 1*, ed. New York, USA: The American Society of Mechanical Engineers, 2001.
- [5] S. D. Timothy Barnhill, Spencer Faltin, Lauryn Jamison, Christina Papadimitrio, and McCall Rogers, "Design and Construction of a Chemical Engineering (ChemE) Car Using Thermoelectrics," Senior Theses, Chemical Engineering, University of South Carolina, Columbia, 2014.
- [6] A. S. University. (2018, April 24, 2018). *Pressure Car*. Available: <http://chemecar.wikispaces.asu.edu/Pressure+Car>
- [7] N. I. o. Health, "Hydrogen Peroxide," April 21, 2018 ed. pubchem.ncbi.nlm.nih.gov: NIH, 2018.
- [8] R. L. W. D. B. Broughton, M. E. Laing, "Mechanism of Decomposition of Hydrogen Peroxide Solutions with Manganese Dioxide. II," *J. Am. Chem. Soc.*, vol. 69, 1947.
- [9] R. G. P. A. A. Frost, *Kinetics and Mechanism* vol. 2. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1961.
- [10] I. M. Campbell, *Catalysis at Surfaces*. London, United Kingdom: Chapman and Hall, 1988.
- [11] NOAA. (2016, April 24, 2018). *Ferric Chloride (2 ed.)*. Available: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/8680>
- [12] R. H. Petrucci, "Kimia Dasar," ed. Jakarta: Erlangga, 1992.
- [13] A. Mantiq. (2016, 15 April 2018). *Hubungan Mol dengan Jumlah Partikel, Massa, Volume dan Molaritas*. Available: <https://bisakimia.com/2016/12/09/hubungan-mol-dengan-jumlah-partikel-massa-volume-dan-molaritas/>
- [14] A. Kovacs, "Gender in the Substance of Chemistry, Part 1: The Ideal Gas," *HYLE*, vol. 18, 2012.
- [15] K. A. Masavetas, "THE MERE CONCEPT OF AN IDEAL GAS," *Math/Comput Modelling*, vol. 12, 1988.
- [16] C. V. Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn, *College Physics*. Belmont, USA: BROOKS/COLE CENAGE LEARNING, 2009.

- [17] L. J. Clancy, *Aerodynamics*. London: Pitman Publishing Limited, 1975.
- [18] L.-I. Wu. (2009). *Computerized tolerance analysis of disk cam mechanisms with a roller follower*.
- [19] R. Pandey. (2017). *cam types*.
- [20] N. R. Assidqi. (2012). *Rangkaian Pneumatik Sederhana*.

Rancang Bangun Alat Pemisah Minyak dan Air dengan *Electro Coagulant*

Muhammad Ilham Ramadhan; Putu Juni Setiawan; R. Grenny Sudarmawan
Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
ilham130296@gmail.com

Abstrak

Pengolahan limbah industri menjadi masalah lingkungan bagi industri. Oil water separator adalah salah satu solusi untuk mengatasi masalah lingkungan pada industri. Oil water separator digunakan sebagai pengolah limbah industri agar didapat limbah yang aman untuk lingkungan dengan tingkat keasaman atau pH mencapai angka 7 yang berarti limbah tersebut bersifat netral sesuai dengan standar baku air. Penggunaan CPI (corrugated plate interceptor) sebagai pengolah limbah hanya mampu memisahkan ukuran droplet dengan ukuran terkecil 50 mikron namun memiliki proses yang lebih cepat daripada EC (electro coagulant). Penggunaan EC sebagai pengolah limbah mampu memisahkan droplet dibawah 50 mikron.

Oil water separator pada umumnya dibuat terpisah antara CPI dengan EC sehingga pada rancang bangun inidikembangkan alat oil water separator dengan penggabungan CPI dan EC. Tujuan dari rancang bangun ini yaitu mendapatkan waktu proses pengolahan limbah yang lebih cepat dan nilai pH mencapai angka 7. Proses pengolahan limbah diawali dengan proses CPI lalu dilanjutkan dengan proses EC. Konstruksi terdiri dari tangki kotak berisi komponen CPI dan EC dengan dimensi keseluruhan 2000 mm x 1000 mm x 1000 mm. CPI memiliki dimensi 850 mm x 260 mm x 310 mm. Plat EC memiliki dimensi 600 mm x 650 mm x 3 mm dengan jumlah plat sebanyak 10 buah, 5 plat sebagai kutub positif dan 5 plat kutub negatif. Kapasitas proses pengolahan limbah didesain mampu memisahkan air dengan minyak sebanyak 1 m³/jam.

Kata kunci: EC (electro coagulant), oil water separator, dan pH.

Abstract

Industrial waste treatment becomes an environmental problem for the industry. Oil water separator is one solution to solve environmental problems in industry. Oil water separator is used as an industrial waste processor to obtain safe waste for the environment with the level of acidity or pH reaches the number 7 which means the waste is neutral in accordance with the standard water standards. The use of CPI (corrugated plate interceptor) as a waste processor is only able to separate the size of droplets with the smallest size of 50 microns but has a faster process than EC (electro coagulant). The use of EC as a waste treatment can separate droplets below 50 microns. Oil water separator is generally separated between the CPI and the EC so that in the design of this tool developed oil water separator with the incorporation of CPI and EC. The purpose of this design is to get a faster processing time of waste and pH value reached number 7. Waste processing begins with CPI process and then proceed with EC process. The construction consists of a box tank containing CPI and EC components with an overall dimension of 2000 mm x 1000 mm x 1000 mm. CPI has dimensions of 850 mm x 260 mm x 310 mm. EC plates have dimensions of 600 mm x 650 mm x 3 mm with the number of plates of 10 pieces, 5 plates as a positive pole and 5 negative pole plate. The capacity of waste processing process is designed to separate water with oil as much as 1 m³ / hour.

Keywords: EC (electro coagulant), oil water separator, dand pH.

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Industri di Indonesia tiap tahun terus meningkat pertumbuhannya, begitu pula dengan limbah yang dihasilkannya. Saat ini pemerintah mulai tegas menerapkan peraturan tentang pembuangan limbah, karena meningkatnya kerusakan lingkungan yang diakibatkan dari berbagai jenis limbah, terutama limbah minyak dan air, limbah *electroplating*, limbah *grease*, limbah logam berat, dan limbah kimia lainnya. Tujuan dari pengolahan limbah adalah untuk mendapatkan limbah yang aman untuk lingkungan dengan tingkat keasaman atau pH senilai 7 yang berarti limbah tersebut bersifat netral sesuai dengan standar baku air.

Oil water separator menggunakan metode CPI (*Corrograted Plate Interceptor*) memiliki kekurangan, yaitu ukuran *droplet* yang dapat disaring berukuran paling kecil 50 mikron. Penggunaan metode CPI dapat mempercepat proses pemisahan minyak dengan air dibandingkan metode EC. Kekurangan lain dari CPI tidak mampu menstabilkan pH, tidak mampu menjaga kejernihan air, dan tidak mampu menghilangkan logam berat.

Oil water separator menggunakan metode EC (*Electro Coagulant*) mampu membersihkan limbah dari *droplet* yang berukuran kurang dari 50 mikron. EC adalah proses pengolahan air yang melibatkan arus listrik pada elektroda logam untuk menghilangkan berbagai kontaminan atau limbah industri. Kekurangan metode EC yaitu waktu proses yang lebih lama daripada metode CPI. Kelebihan lain dari EC diantaranya mampu memisahkan beragam limbah industri termasuk logam berat.

Berdasarkan kelebihan dan kelemahan masing-masing metode, maka dilakukan rancang bangun alat *oil water separator* dengan penggabungan metode CPI dan EC agar mendapatkan alat pemisah air dan minyak yang lebih efektif dan efisien, lebih mudah dalam perawatan, lebih mudah dalam fabrikasi, dan peralatan yang dihasilkan memiliki dimensi yang kompak sehingga meningkatkan efektivitas penggunaan lahan industri.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan alat pemisah minyak dan air dengan *electro coagulant* adalah sebagai berikut

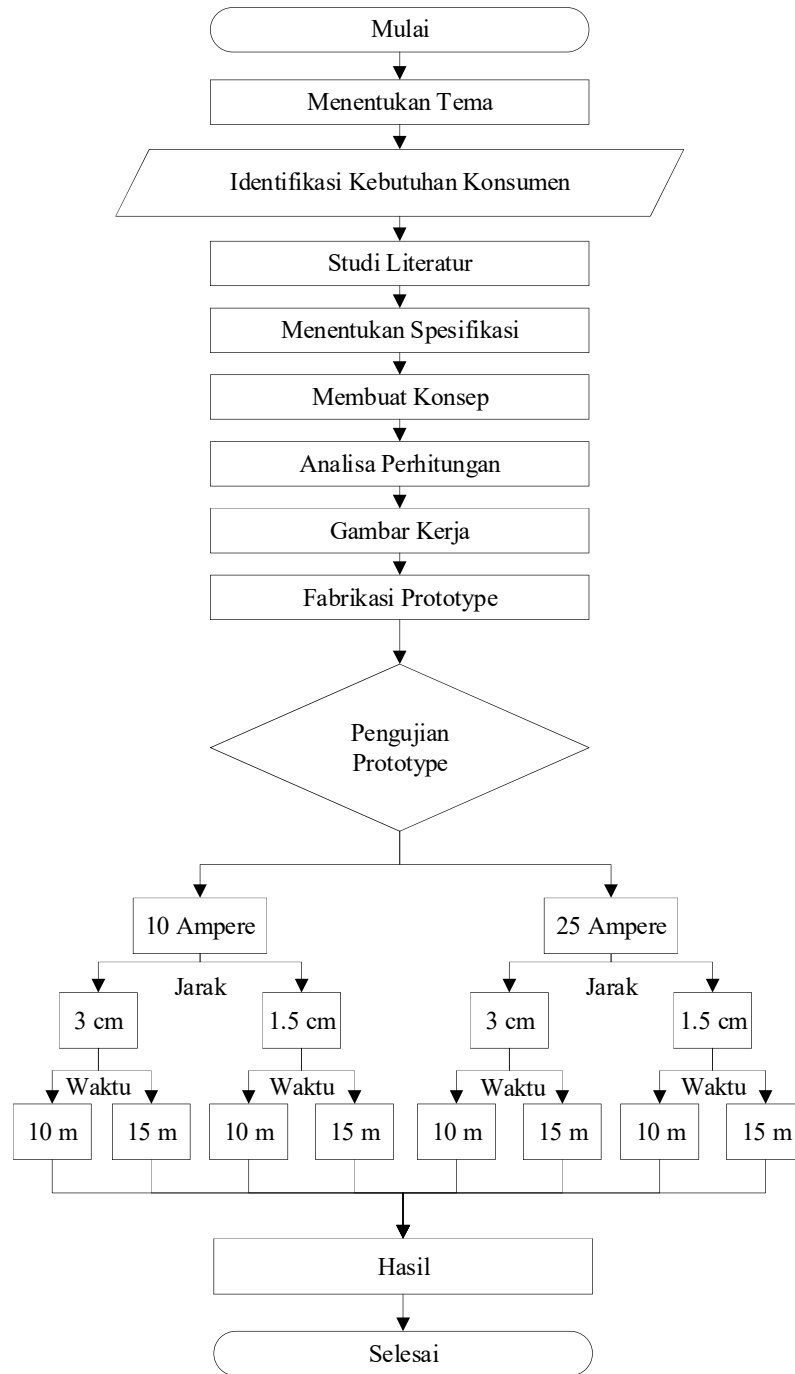
1.2.1. Tujuan Umum

1. Menghasilkan alat pengolah limbah untuk berbagai jenis limbah industri terutama yang mengandung minyak
2. Memperbaiki kualitas air sebelum dibuang ke saluran umum.

1.2.2. Tujuan Khusus

1. Membuat alat pemisah minyak dan air untuk diteliti keberhasilannya mencapai standar baku air.
2. Analisis desain yang dirancang sehingga mendapatkan dimensi yang dibutuhkan berdasarkan kapasitas proses yang diinginkan konsumen.
3. Melakukan fabrikasi *prototype*.

2. METODE PENELITIAN



Gambar Diagram Alir

Metode proses perancangan dilakukan dengan urutan sebagai berikut:

1. Penentuan Judul
Penentuan judul “Rancang Bangun Alat Pemisah Minyak dan Air dengan *Electro Coagulant*” berasal dari industri atau konsumen untuk dilakukan penelitian. Judul ini digunakan untuk membuat sebuah *equipment oil water separator* untuk menyaring limbah cair yang berasal dari industri berupa campuran minyak dan air. Alat ini dirancang menyesuaikan kebutuhan konsumen.
2. Studi Literatur
Studi literatur digunakan untuk memahami dasar-dasar teori terkait dengan rancang bangun ini. Data tersebut berupa kapasitas, desain data dan dimensi tangki. Sehingga dapat diperoleh hal-hal yang digunakan dalam rancang bangun alat pemisah minyak dan air dari segi proses kerja.
3. Membuat Konsep dan Menentukan Spesifikasi
Segala pemikiran ataupun ide-ide yang ada dituangkan dalam sebuah konsep desain. Kemudian ditentukan jenis filter, dimensi dan bentuk tangki yang digunakan pada alat pemisah air dan minyak berdasarkan permintaan konsumen.
4. Analisa Perhitungan
Perhitungan meliputi kapasitas tangki, ketebalan plat tangki, dan kekuatan las pada tangki dan pada kaki yang menopang tangki.
5. Gambar Kerja
Hasil meliputi gambar lengkap rancangan dan spesifikasi rancangan beserta gambar per bagian.
6. Fabrikasi *Prototype*
Berikut dilampirkan tahapan pembuatan *prototype* :
 - a. Pembuatan tangki dengan bahan akrilik ketebalan 3 mm
 - b. Pembuatan part *scum pipe* menggunakan pipa PVC
 - c. Pembuatan part *electro coagulant*
 - d. Perakitan CPI menggunakan pipa PVC
 - e. Perakitan *electro coagulant*
7. Pengujian *Prototype*
Pengujian *prototype* dilakukan dengan merubah besar arus listrik agar didapatkan hasil yang terbaik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan jarak antar EC 3 cm untuk setiap pengujian digunakan arus listrik sebesar 10 A, 25 A, selama 10 menit dan 15 menit.
8. Hasil
Hasil berisi data-data pengujian kemudian dilakukan analisis untuk memperoleh kesimpulan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Proses Rancang Bangun

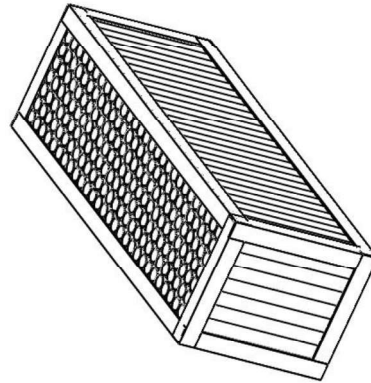
Proses rancang bangun dimulai dengan mengetahui kebutuhan konsumen. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan konsep dan menentukan spesifikasi berdasarkan permintaan konsumen. Setelah menentukan spesifikasi dilanjutkan dengan melakukan analisa perhitungan dan pembuatan gambar kerja. Proses berikutnya adalah pembuatan *prototype* untuk dilakukan pengujian agar mendapatkan hasil yang optimal. Hasil dari pengujian kemudian dianalisis agar didapat kesimpulan.

3.2. Produk Rancang Bangun

Pada penulisan ini terdapat dua jenis produk yaitu produk asli dan *prototype*. Produk asli dibuat sesuai dengan hasil rancangan. *Prototype* dibuat untuk dilakukan simulasi terhadap waktu proses dan besar arus listrik pada proses elektro koagulasi. Pada penulisan ini hanya dilakukan proses rancangan terhadap produk asli dan pembuatan serta pengujian *prototype*.

Berikut dilampirkan *part* yang terdapat pada alat ini.

3.2.1. CPI (Corrogruated Plate Interceptor)



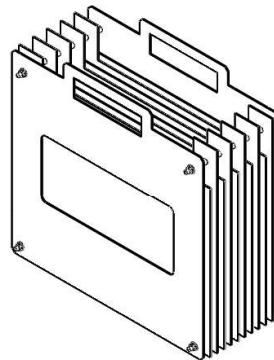
Gambar 3.1 *Corrugated Plate Interceptor*

CPI dirancang untuk memisahkan minyak dan air yang terdapat dalam air limbah. Pada air dan minyak memiliki viskositas yang berbeda. Fluida dengan viskositas rendah memiliki sifat lebih mudah mengalir dibandingkan dengan fluida yang memiliki viskositas lebih tinggi.

CPI pada produk asli memiliki dimensi 850 mm x 260 mm x 310 mm.

CPI pada *prototype* disusun dengan menggabungkan 66 buah pipa PVC dengan ukuran masing-masing pipa berdiameter 5/8" dan panjang 10 [cm] yang disusun teratur sehingga berbentuk seperti Gambar 3.1.

3.2.2. Plat EC (*Electro Coagulant*)



Gambar 3.2 Plat *Electro Coagulant*

Plat EC merupakan *part* yang digunakan untuk proses elektro koagulasi. Elektro koagulasi adalah proses penggumpalan dan pengendapan partikel-partikel halus yang terdapat dalam air menggunakan energi listrik. Pada penulisan ini, partikel halus berupa minyak.[2]

Arus listrik dan waktu proses akan berpengaruh terhadap kondisi keasaman. Semakin besar arus yang digunakan maka akan berpengaruh besar terhadap kondisi keasamaan setelah proses, sedangkan waktu kontak memiliki pengaruh yang lebih kecil.[3]

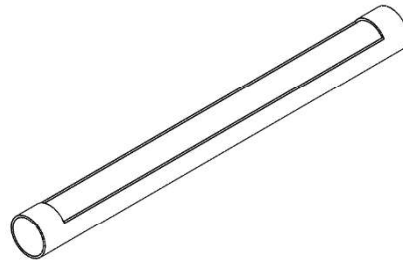
Belum ditemukan pengaruh jarak antar plat *electro coagulant* dengan kondisi keasamaan setelah proses.

Susunan plat EC dilampirkan pada Gambar 3.2, plat EC disusun bergantian antara plat negatif dengan plat positif yang disisipkan *spacer* antara plat negatif dengan plat positif untuk memberikan jarak antar plat EC.

Pada produk asli menggunakan material *Aluminium* dengan dimensi masing-masing plat 600 mm x 650 mm x 3 mm dengan jumlah plat sebanyak 10 buah, 5 plat sebagai kutub positif dan 5 plat kutub negatif.

Pada *prototype* yang dibuat menggunakan material *Aluminium* dengan dimensi masing-masing plat 100 mm x 100 mm x 2 mm dengan jumlah plat sebanyak 6 buah, 3 plat sebagai kutub positif dan 3 plat kutub negatif dengan jarak antar plat sebesar 30 [mm].

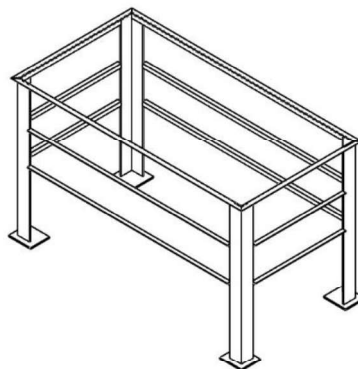
3.2.3. *Scum Pipe*



Gambar 3.3 *Scum Pipe*

Scum pipe adalah alat yang berfungsi untuk mengatur pembuangan kontaminan yang mengapung baik itu yang menggumpal maupun yang tidak yang telah dipisahkan dengan air limbah ke tempat penampungan kontaminan. Pada *prototype*, *scum pipe* di buat dengan menggunakan pipa PVC yang bagian tengah pipa dipotong untuk *input* minyak atau gumpalan hasil pemisahan. Pada pembuatan *prototype*, *scum pipe* didukung dengan bantalan plastik dan disegel dengan *sealant* untuk mencegah kebocoran.

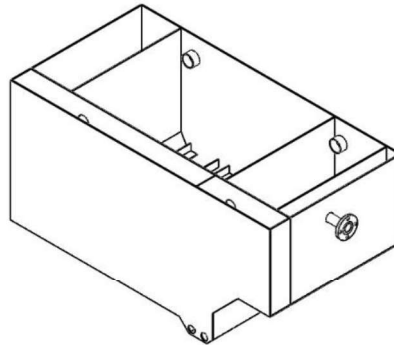
3.2.4. *Stiffner*



Gambar 3.4 *Stiffner*

Stiffner merupakan *part* produk asli menggunakan besi siku yang dibuat mengelilingi tangki. Fungsi dari *stiffner* ini adalah untuk mencegah terjadinya defleksi yang diakibatkan tekanan dari dalam tangki.

3.2.5. Tangki



Gambar 3.5 Tangki

Pada rancangan produk asli tangki terbuat dari material *Carbon Steel A-36* dengan dimensi keseluruhan 2 [m] x 1 [m] x 0.95 [m]. Bentuk tangki terlampir pada Gambar 3.5. Pada tangki terdapat *nozzle inlet* dan *outlet*. Pada *prototype* yang dibuat menggunakan material akrilik dengan dimensi keseluruhan 400 [mm] x 200 [mm] x 200 [mm]

Kecepatan aliran pada tangki dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 1

$$V_s = \frac{[200 \cdot g (\rho_{air} - \rho_{oli})]}{\pi} \cdot d^2 \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- V_s = *Sedimentation Velocity* (m/s)
- g = *Gravitational Acceleration* (m/s²)
- ρ_{air} = *Water Density* (kg/m³)
- ρ_{oli} = *Oil Density* (kg/m³)
- π = 3.14
- d = *Inlet Diameter* (m)

Debit aliran yang masuk ke dalam tangki dapat diketahui dengan persamaan 2 :

$$A = \frac{Q}{V_s} \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

- A = *Separating Area* (m²)
- Q = *Debit* (m³/s)

Dari persamaan I dan II maka akan didapatkan debit fluida yang dapat melalui tangki pada alat

Material dalam pembuatan tangki menggunakan *carbon steel A-36* dengan spesifikasi bahan sebagai berikut :

Tabel 3.1. Spesifikasi *Carbon Steel A-36*

Physical Properties	Metric	English
Density	7.8 g/cc	0.284 lb/in ²
Mechanical Properties	Metric	English

<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	<i>400-550 Mpa</i>	<i>58000-79800 psi</i>
<i>Tensile Strength, Yield</i>	<i>250 Mpa</i>	<i>36300 psi</i>
<i>Elongation at Break</i>	<i>20 %</i>	<i>20 %</i>
	<i>23 %</i>	<i>23 %</i>
<i>Modulus of Elasticity</i>	<i>200 Gpa</i>	<i>29000 psi</i>
<i>Compressive Yield Strength</i>	<i>152 Mpa</i>	<i>22000 ksi</i>
<i>Bulk Modulus</i>	<i>160 Gpa</i>	<i>23200 psi</i>
<i>Poissons Ratio</i>	<i>0.26</i>	<i>0.26</i>
<i>Shear Modulus</i>	<i>79.3 Gpa</i>	<i>11500 ksi</i>

Untuk mendapatkan ketebalan plat tangki agar dapat menahan tekanan air, maka tebal plat tangki dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3 [1] berikut :

$$t = \sqrt{\frac{\beta \times P_d \times b^2}{s}} + CA \dots \dots \dots (3)$$

t = ketebalan plat

b = horizontal length without reinforced

P_d = design pressure

S = allowable stress

CA = corrosion allowance

3.3. Sistem Kerja

Sistem kerja dari alat ini diawali dengan penyaringan limbah melalui media CPI, pada *prototype* media CPI menggunakan pipa PVC berdiameter 5/8” yang disusun dengan teratur. Pada media CPI diharapkan limbah dapat terpisah dari partikel-partikel kontaminan seperti minyak, atau kontaminan lain yang memiliki viskositas lebih rendah daripada air. Setelah melalui media CPI, dilanjutkan ke media EC, pada media ini diharapkan sisa-sisa kontaminan dari limbah dapat menggumpal sehingga alat ini dapat menghasilkan air yang jernih.

3.4. Hasil Desain Rancangan dan *Prototype*

Hasil rancangan berupa tangki memiliki dimensi keseluruhan 2000 [mm] x 1000 [mm] x 1000 [mm] dengan material *Carbon Steel A-36*. CPI memiliki dimensi 850 mm x 260 mm x 310 mm. Plat EC memiliki dimensi 600 mm x 650 mm x 3 mm dengan jumlah plat sebanyak 10 buah, 5 plat sebagai kutub positif dan 5 plat kutub negatif.

Prototype yang dibuat memiliki dimensi keseluruhan 400 [mm] x 200 [mm] x 200 [mm] dengan material akrilik. CPI dibuat dengan menggunakan pipa PVC berdiameter 5/8” dengan Panjang 10 [cm] sebanyak 66 buah yang disusun secara teratur. Plat EC memiliki dimensi 100 [mm] x 100 [mm] x 2 [mm] dengan jumlah plat sebanyak 6 buah, 3 plat sebagai kutub positif dan 3 plat kutub negatif

3.5. Hasil Uji Coba

Uji coba dilakukan menggunakan *prototype*. Berikut dilampirkan hasil pengujian.

3.5.1. Percobaan 1, Arus 10 [A] waktu 10 [menit]



Gambar 3.6 Percobaan 1

Melalui pengamatan visual dapat dilihat bahwa hasil proses menghasilkan cairan yang keruh dan terdapat endapan warna hitam pada bagian bawah. Masih tercium bau yang mirip dengan bau limbah. Hasil proses dapat dilihat pada Gambar 3.6. pH hasil proses sebesar 7,8

3.5.2. Percobaan 2, Arus 10 [A] waktu 15 [menit]



Gambar 3.7 Percobaan 2

Melalui pengamatan visual dapat dilihat bahwa hasil proses menghasilkan cairan yang lebih bening daripada percobaan 1, terdapat endapan warna hitam pada bagian bawah. Masih tercium bau yang mirip dengan bau limbah. Hasil proses dapat dilihat pada Gambar 3.7. pH hasil proses sebesar 8.04

3.5.3. Percobaan 3, Arus 25 [A] waktu 10 [menit]



Gambar 3.8 Percobaan 3

Melalui pengamatan visual dapat dilihat bahwa hasil proses percobaan ketiga menghasilkan cairan yang lebih bening, dan terdapat endapan warna hitam pada bagian bawah namun terlihat lebih samar daripada percobaan kedua. Masih tercium bau yang mirip dengan bau limbah. Hasil proses dapat dilihat pada Gambar 3.8. pH hasil proses sebesar 8.10.

3.5.4. Percobaan 4, Arus 25 [A] waktu 15 [menit]



Gambar 3.9 Percobaan 4

Melalui pengamatan visual dapat dilihat bahwa hasil proses percobaan keempat menghasilkan cairan yang lebih bening daripada percobaan ketiga, terdapat endapan warna putih dan sedikit kontaminan warna putih yang masih terlarut. Masih tercium bau yang mirip dengan bau limbah. Hasil proses dapat dilihat pada Gambar 3.9. pH hasil proses sebesar 7,80 - 8,0.

4. KESIMPULAN

a. Hasil rancangan

Hasil rancangan berupa tangki memiliki dimensi keseluruhan 2000 [mm] x 1000 [mm] x 1000 [mm] dengan material *Carbon Steel A-36*. CPI memiliki dimensi 850 mm x 260 mm x 310 mm. Plat EC memiliki dimensi 600 mm x 650 mm x 3 mm dengan jumlah plat sebanyak 10 buah, 5 plat sebagai kutub positif dan 5 plat kutub negatif.

b. Hasil uji coba

Berdasarkan uji coba, pengamatan secara visual diperoleh hasil paling jernih didapat pada proses elektro koagulasi dengan menggunakan arus listrik sebesar 25 [A] selama 15 [menit], namun masih terdapat endapan kontaminan. Pengujian menggunakan arus listrik 10 [A] selama 10 [menit] didapatkan hasil yang paling keruh, masih terdapat kontaminan yang terlarut dan banyak terdapat endapan. Masih terdapat bau pada seluruh hasil percobaan.

Pengamatan menggunakan pH meter, hasil yang mendekati pH 7 didapat pada percobaan 1 dengan nilai pH sebesar 7,8. Pada percobaan 3 didapat nilai pH yang terbesar yaitu sebesar 8,10.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. PUSTEK E&T sebagai tempat *On Job Training* yang telah memberikan kesempatan, waktu, dan tempatnya untuk menyelesaikan penulisan skripsi.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. P. E. Kanti K, *Design of Process Equipment*, Second. Tulsa: Pressure Vessel Handbook Publishing, Inc, 1985.
- [2] D. A. Gunawan, "Elektrokoagulasi Menggunakan Aluminium sebagai Pretreatment pada Elektrokoagulasi Menggunakan Aluminium sebagai Pretreatment pada Mikrofiltrasi Air Permukaan yang Mengandung NOM," no. December 2016, 2017.
- [3] G. J. Millar, J. Lin, A. Arshad, and S. J. Couperthwaite, "Journal of Water Process Engineering Evaluation of electrocoagulation for the pre-treatment of coal seam water," vol. 4, pp. 166–178, 2014.

Rancang Bangun Unit Pemurnian Limbah yang Mengandung Minyak & Asam Lemak Menjadi Bahan Baku Biodiesel Plant

Dheny Catur Kristanto; Hikari Arif Iman; Sherina Maria Sitorus

Teknik Mesin, Prodi Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta,

dhenycaturkristanto@gmail.com, hikariarifiman@gmail.com, sherinamariasitorus@gmail.com

Abstrak

Bahan baku yang digunakan pada unit produksi biodiesel yang beroperasi di PT Badak NGL dari tahun 2015 hingga saat ini adalah minyak jelantah dari Mess Hall PT Badak NGL. Penelitian tugas akhir ini dibuat untuk menambahkan variasi bahan baku yang dapat di olah di unit produksi tersebut. Bahan baku yang akan diolah di unit ini sebelum ditambahkan ke unit produksi biodiesel yang sudah ada adalah limbah ikan, ampas kelapa serta minyak jelantah dari rumah makan lokal, dengan batas kandungan FFA dibawah 1% dan air dibawah 0,5%. Limbah ikan dan ampas kelapa akan melalui proses ekstraksi terlebih dahulu untuk diambil minyaknya dengan menggunakan Wet Method yang mana memanfaatkan air sebagai media mengekstrak minyak. Dari uji skala lab, dengan menggunakan metode tersebut rata-rata dihasilkan minyak ikan sebanyak 11,25 mL tiap kg limbah ikan dan 10,5 mL minyak kelapa tiap kg ampas kelapa. Kandungan %FFA minyak ikan, minyak kelapa dan minyak jelantah saat percobaan skala lab sebesar 7,5%, 2,5% dan 3,5%. Selanjutnya ketiga minyak akan dicampurkan dengan perbandingan 1 : 1 : 2, dengan minyak jelantah yang memiliki perbandingan terbesar. Dengan data yang telah diperoleh, dapat ditentukan banyaknya reaktan yang dibutuhkan. Campuran minyak akan diturunkan nilai FFA (Free Fatty Acid) dan air-nya melalui proses evaporasi dan esterifikasi dengan bantuan panas, H_2SO_4 dan Methanol. Hasil esterifikasi harus dibersihkan terlebih dahulu untuk menghilangkan reaktan dan air sebelum dikirim ke unit produksi biodiesel.

Kata kunci: ekstraksi ikan, ekstraksi kelapa, esterifikasi.

Abstract

Feed that used in biodiesel plant at PT Badak NGL since 2015 is waste cooking oil from PT Badak NGL's Mess Hall. The purpose of this study is to add more variation of feed that can be treated in existing biodiesel plant at PT Badak NGL. Feeds that is going to be used in this research are fish waste, coconut waste and used cooking oil from local restaurant. All of the oil from feeds will be added to existing biodiesel plant with two specification, such as FFA (<1%) and water (<0,5%). The fish oil and coconut oil will be extracted by Wet Method which is using water as the oil solvent. From the lab scale experiment, using Wete Method produce an averaged number of 11,25 mL of fish oil per kilogram fish waste and 10,5 mL coconut oil per kilogram coconut waste. The %FFA content of fish, coconut and used cooking oil is 7,5%, 2,5%, and 3,5% respectively. All of the oil will be mixed with ratio 1 : 1 : 2, which the used cooking oil is the highest ratio. The reactant needed can be obtained from the lab scale experiment's data. The next step are evaporation and esterification which are used to reduce the water and FFA content using heat, H_2SO_4 and Methanol. After esterification, the crude oil should be cleaned first to remove its reactant and water remnant before being sent to the biodiesel plant.

Keywords: fish waste extraction, coconut waste extraction, esterification.

I. PENDAHULUAN (FONT 11)

Latar belakang

Meningkatnya angka pertumbuhan manusia liner dengan meningkatnya jumlah kebutuhan energi yang dibutuhkan untuk aktivitas kehidupan manusia. Minyak bumi merupakan salah satu ketergantungan manusia terbesar hingga saat ini. Ketergantungan manusia terhadap sumber daya fosil yang tidak dapat diperbaharui itu haruslah dikurangi, karena pada masa yang akan datang, diprediksi minyak dan gas alam akan habis. Hal ini sudah mulai terasa sekarang [1]. Salah satu alternatif yang banyak menjadi perhatian peneliti adalah biodiesel. Biodiesel adalah bioenergi yang diproduksi dari minyak nabati turunan tumbuh-tumbuhan dan hewani setelah melalui beberapa tahapan proses seperti ekstraksi, dilanjutkan dengan esterifikasi dan yang terakhir adalah proses transesterifikasi itu sendiri, yang merupakan proses inti dalam pengolahan limbah minyak menjadi biodiesel. Biodiesel digunakan sebagai pengganti solar yang dapat digunakan pada mesin diesel. Mahasiswa LNG Academy angkatan kedua (2012) telah berhasil membuat sebuah unit pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel, dan hingga saat ini alat tersebut masih berjalan dan

dimanfaatkan di nursery Section PT Badak NGL. Biodiesel sesungguhnya dapat diproduksi dari sumber daya nabati maupun hewani, selama limbah tersebut mengandung minyak [2]. Faktanya, hingga saat ini biodiesel yang dapat diproduksi oleh unit tersebut hanyalah berasal dari satu bahan baku, yaitu minyak jelantah yang dihasilkan oleh *mess hall*, dan hal ini sungguh sangat disayangkan. Maka dari itu, terpikir oleh kami untuk memperluas variasi bahan baku, agar unit produksi biodiesel yang sudah ada tersebut tidak tergantung pada satu bahan baku saja, dan pengoperasiannya pun akan lebih fleksibel. Untuk itu, kami unit menggunakan 3 jenis bahan baku, yaitu minyak jelantah dari rumah makan lokal yang mewakili limbah minyak goreng, minyak ikan yang berasal dari limbah ikan yang mewakili minyak hewani dan minyak kelapa yang berasal dari ampas kelapa yang mewakili minyak nabati.

Tujuan dan Batasan Masalah

Tujuan yang ingin dicapai adalah merancang bangun unit pemurnian limbah mengandung minyak dan asam lemak menjadi bahan baku biodiesel *plant* dengan menggunakan sistem kontrol semi otomatis berbasis mikrokontroler Arduino. Bahan baku yang hendak diolah merupakan limbah ikan, ampas kelapa dan minyak jelantah. Target akhir produk dari unit yang akan dibangun memiliki kandungan asam lemak bebas (FFA) dibawah 1% dan air dibawah 0,5% dari berat total minyak. Batasan masalah dari penelitian yang dilakukan penulis adalah :

1. Limbah yang akan dimurnikan dan diambil minyaknya pada unit yang akan dibangun adalah limbah ikan, ampas kelapa dan minyak jelantah.
2. Limbah ikan & ampas kelapa berasal dari pasar lokal dan minyak jelantah berasal dari rumah makan lokal di Kota Bontang. Variasi bahan baku tidak dibahas lebih lanjut.
3. Proses ekstraksi limbah ikan dan ampas kelapa dilakukan melalui pemanasan pada suhu 100⁰C dan 110⁰C.
4. Asam kuat yang digunakan untuk proses esterifikasi adalah H₂SO₄ dengan konsentrasi 96% dan alkohol yang digunakan adalah metanol dengan konsentrasi 99,9%.
5. Produk samping dari proses ekstraksi & esterifikasi dan kelanjutan produk dari unit yang dirancang tidak dibahas lebih lanjut.
6. Sistem kontrol yang digunakan adalah *semi-automatic* berbasis mikrokontrol Arduino.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian yang dilakukan penulis, target kualitas minyak yang telah diproses adalah memiliki kandungan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) dibawah 1% berat dan kandungan air dibawah 0,5% berat [2, 3]. Asam lemak bebas dan air sangat berpengaruh pada proses yang terjadi pada *Biodiesel Plant*. Asam lemak bebas dapat mengurangi efektifitas katalis yang digunakan (KOH) dan air akan menghidrolisis senyawa gliserida menjadi asam lemak bebas. Proses yang digunakan dinamakan esterifikasi, yaitu mengubah senyawa asam lemak bebas menjadi ester atau biodiesel. Untuk memperoleh minyak ikan dan minyak kelapa, penulis menggunakan metode *wet rendering* untuk mengekstrak minyak ikan yang mana limbah ikan direbus menggunakan air selama beberapa waktu untuk mendapatkan minyaknya dan *wet method* untuk mengekstrak minyak kelapa. Dalam *wet method*, kelapa ampas kelapa dicampurkan dengan air untuk dijadikan santan dan kemudian dipanaskan hingga santan berubah menjadi minyak [4 – 10]. Minyak yang telah diperoleh kemudian direaksikan menggunakan metanol dan asam sulfat. Untuk itu, diperlukan studi secara eksperimental yang kemudian dilanjutkan dengan merancang unit. Langkah – langkah penelitian sebagai berikut :

- a. Analisis bahan baku limbah ikan dan ampas kelapa.
- b. Merancang proses ekstraksi limbah ikan dan ampas kelapa agar dapat menghasilkan minyak.
- c. Merancang proses esterifikasi agar nilai FFA dan kadar air tercapai.
- d. Merancang peralatan melalui kondisi operasi pada unit ekstraksi, dan kolom reaktor.
- e. Merancang komponen-komponen mekanikal dan instrumentasi yang dibutuhkan.
- f. Pembuatan peralatan.
- g. Perbaikan dan pengujian alat.

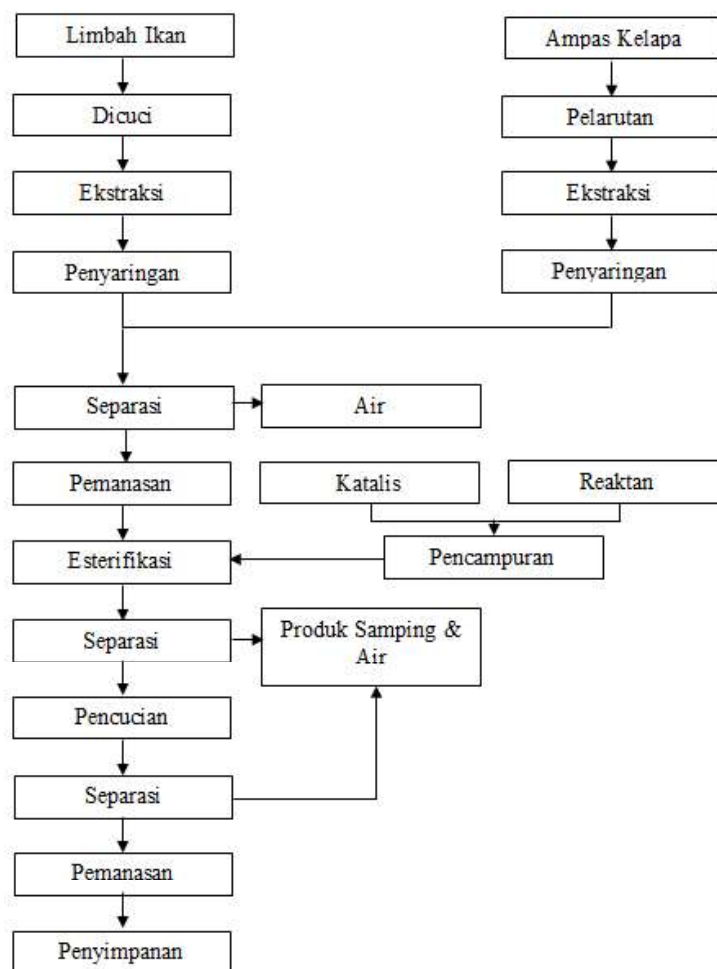
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Bahan Baku Limbah Ikan dan Ampas Kelapa

Dari percobaan yang dilakukan, tiap 2 kg limbah ikan dapat menghasilkan minyak ikan yang berkisar antara 15 – 30 mL dengan kandungan asam lemak bebas 5% - 10%. Ampas kelapa yang diekstrak tiap 500 gramnya akan menghasilkan minyak kelapa sebanyak 1 – 7 mL dengan kandungan asam lemak bebas antara 0,5% - 5%. Minyak jelantah yang digunakan pada *Biodiesel Plant* memiliki kandungan asam lemak bebas antara 1% - 6%. Nilai tengah %FFA masing – masing minyak secara berurutan – turut adalah 7,5%, 2,5% dan 3,5%, apabila dirata – ratakan sesuai perbandingan pencampuran, maka persentase FFA menjadi 4,3% + 0,5% sebagai toleransi. Dari perhitungan tersebut, rasio metanol dan asam sulfat terhadap minyak sebesar 47,41 : 1 dan 12,85 : 1 [2]. Dengan data yang diperoleh dan metode yang digunakan, perlu dibuat proses ekstraksi dan seprasi. Kemudian dilanjutkan proses evaporasi dan diakhiri dengan esterifikasi untuk mengkondisikan air dan asam lemak dalam ketiga minyak tersebut supaya dapat diproses pada *Biodiesel Plant* secara efisien

2. Merancang Proses Ekstraksi Limbah Ikan dan Ampas Kelapa dan Proses Esterifikasi

Rancangan proses unt yang akan dibangun ditunjukkan pada Gambar. 1 berikut :



Gambar. 1 Bagan Rancangan Proses Ekstraksi dan Esterifikasi

Ekstraksi minyak ikan dan minyak kelapa dilakukan pada tekanan atmosferis dan suhu 100⁰C – 110⁰C. Waktu yang digunakan untuk menjalankan proses ekstraksi untuk masing – masing limbah adalah 2 jam (limbah ikan) dan 5 jam (ampas kelapa). Banyaknya limbah ikan yang digunakan adalah 7 kg dan ampas kelapa sebanyak 2 kg. Kemudian hasil ekstrak di masukkan ke dalam separator untuk memisahkan air dan

padatan yang terbawa. Langkah selanjutnya adalah mengesterifikasi minyak yang diperoleh. Namun sebelum dilakukan esterifikasi, minyak sebanyak 6 liter minyak ditakar dengan komposisi 3 liter minyak jelantah, 1,5 liter minyak ikan dan 1,5 liter minyak kelapa. Kemudian ketiga minyak dipanaskan pada suhu 110°C selama 3 jam untuk menghilangkan kandungan air yang masih terbawa. Setelah selesai, minyak yang suhunya masih tinggi didinginkan menggunakan air pendingin untuk diturunkan suhunya dikisaran 55°C – 60°C karena pada suhu ini, reaksi esterifikasi berlangsung secara efisien. Selagi menunggu suhu turun, siapkan campuran metanol dan asam sulfat secara berurut- turut sebanyak 800 mL dan 9 mL. Setelah suhu untuk reaksi esterifikasi tercapai, masukan campuran metanol dan asam sulfat dengan minyak, kemudian aduk dan tunggu selama 2 jam. Langkah terakhir adalah mencampurkan air sebagai media pencuci minyak dan tunggu selama 1 jam agar terbentuk lapisan – lapisan cairan. Buang 2 lapisan bawah dan panaskan lapisan paling atas selama 2 jam untuk menghilangkan kandungan air.

3. Perancangan Peralatan dari Segi Mekanikal

Dalam perancangan alat ini, digunakan software engineering Solidworks Premium versi 2013. Solidworks adalah salah satu CAD software yang dibuat oleh Dassault Systems digunakan untuk merancang bagian permesinan atau susunan bagian permesinan yang berupa perakitan dengan tampilan 3D untuk merepresentasikan bagian sebelum bagian sebenarnya dibuat atau tampilan 2D (drawing) untuk gambar proses permesinan. Alat-alat yang didesain dengan menggunakan software ini antara lain: platform, Fish Oil Extractor (R-1), Coconut oil Extractor (R-2), Crude Oil Filter (Y-1), Oil Separator Column (C-1), Reactant Tank (R-3), Reactor (R-4)

Pada dasarnya untuk membuat sebuah alat, perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui apakah alat yang dibuat layak digunakan atau tidak. Unit pemurnian limbah mengandung minyak menjadi bahan baku biodiesel plant dalam mengalirkan fluida kerjanya memanfaatkan gaya gravitasi (tanpa menggunakan pompa), sehingga ketinggian masing-masing alat perlu dihitung dengan tepat agar fluida kerja dapat mengalir.

Input yang dibutuhkan untuk men-desain vessel adalah kapasitas yang dibutuhkan, fluida kerja, dan kondisi operasi (suhu dan tekanan). Kapasitas yang dibutuhkan akan menjadi dasar penentuan diameter dan tinggi vessel yang dibuat. Jenis fluida kerja yang ditampung akan mempengaruhi pemilihan material yang akan dipakai. Sedangkan kondisi operasi berupa suhu dan tekanan akan menentukan ketebalan shell dan head yang akan dibuat.

Rangkuman spesifikasi kolom dirangkum pada tabel berikut :

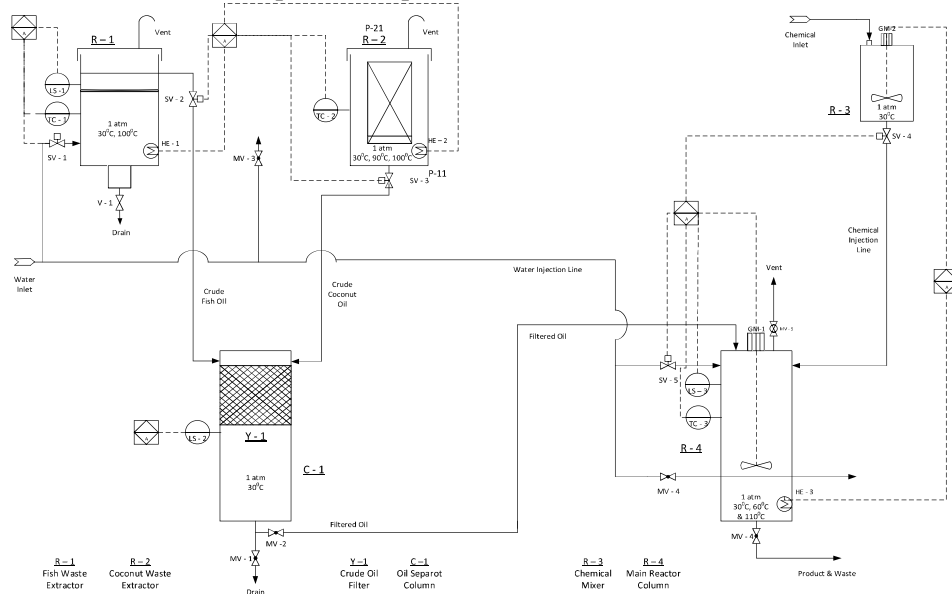
Tabel. 1 Spesifikasi Kolom

Tangki Ekstraktor Ikan		Tangki Ekstraktor Kelapa	
<i>Temperature Design</i>	100°C	<i>Temperature Design</i>	110°C
<i>Maximum Allowable Working Temp</i>	260°C	<i>Maximum Allowable Working Temp</i>	260°C
<i>Pressure Design</i>	1 atm	<i>Pressure Design</i>	1 atm
MAWP	39.26 atm	MAWP	29.26 atm
Tebal <i>shell</i>	0.18 in	Tebal <i>shell</i>	0.18 in
Tebal <i>head</i>	0.25 in	Tebal <i>head</i>	0.25 in
Tinggi Kolom		Tinggi Kolom	
Jenis Insulasi	<i>Expanded Metal</i>	Jenis Insulasi	<i>Expanded Metal</i>
Tebal Insulasi	3 in	Tebal Insulasi	3 in
Material Kolom	<i>SS SA312 TP304</i>	Material Kolom	<i>SS SA312 TP304</i>
Material Head	<i>SS SA240 TP304</i>	Material Head	<i>SS SA240 TP304</i>
<i>Service</i>	Limbah Ikan	<i>Service</i>	Ampas Kelapa
Tangki Separator		Tangki Reaktan	
<i>Temperature Design</i>	30°C	<i>Temperature Design</i>	30°C
<i>Maximum Allowable Working Temp</i>	648°C	<i>Maximum Allowable Working Temp</i>	815°C
<i>Pressure Design</i>	1 atm	<i>Pressure Design</i>	1 atm
MAWP	104.74 atm	MAWP	149.63
Tebal <i>shell</i>	0.322 in	Tebal <i>shell</i>	0.237 in

Tebal head	0.25 in	Tebal head	0.25 in
Tinggi Kolom		Tinggi Kolom	
Jenis Insulasi	-	Jenis Insulasi	-
Tebal Insulasi	-	Tebal Insulasi	-
Material Kolom	SS SA312 TP304	Material Kolom	SS SA312 TP304
Material Head	SS SA240 TP304	Material Head	SS SA240 TP304
Service	Minyak ikan, minyak kelapa, minyak jelantah dan air	Service	Metanol dan asam sulfat
Tangki Reaktor			
Temperature Design	110 ^o C & 60 ^o C	Jenis Insulasi	Calcium-Silicat
Maximum Allowable Working Temp	260 ^o C	Tebal Insulasi	2 in
		Material Kolom	SS SA312 TP304
Pressure Design	1 atm	Material Head	SS SA240 TP304
MAWP	39.26 atm	Service	Minyak ikan, minyak kelapa, minyak jelantah, metanol, asam sulfat dan air
Tebal shell	0.18 in		
Tebal head	0.25 in		
Tinggi Kolom			

4. Perancangan Peralatan dari Segi Kelistrikan dan Instrumentasi

Proses perancangan sistem kelistrikan dan instrumentasi pada unit tugas akhir ini dimulai dengan pemilihan sensor sesuai dengan kebutuhan operasi proses. Karena sisi operasi proses hanya membutuhkan kontrol pada tinggi cairan di kolom dan temperature operasi, maka dipilihlah sensor yang paling mudah didapatkan di pasaran. Demikian juga halnya dengan solenoid valve yang akan digunakan. Komponen yang dicari adalah dengan spesifikasi khusus yaitu material sensor dan solenoid valve harus tahan karat dan suhu tinggi. Untuk sisi kelistrikan, komponen yang dibutuhkan adalah motor listrik dan heater element, serta lampu indikator. Untuk pemilihan motor listrik, penulis memilih motor yang pompa air. Untuk pemilihan heater element didasari pada kebutuhan suhu operasi yang diinginkan, dengan mempertimbangkan waktu yang dibutuhkan. Karena waktu menaikkan suhu tidaklah menjadi prioritas, maka kami memilih heater element dengan kebutuhan daya yang paling rendah untuk keekonomisan listrik yang digunakan. Sedangkan untuk sisi proteksi listrik, pemilihan circuit breaker utama maupun masing-masing beban didasarkan pada perhitungan dasar kelistrikan, dan disesuaikan dengan rating circuit breaker yang umum di pasaran. Untuk diagram *piping* dan *instrumentation* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar. 2 P&ID

5. Hasil Alat dan Analisa Produk

Hasil perancangan alat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar. 3 Realisasi Unit

Setelah dilakukan pengujian, jumlah ekstrak dimasing – masing percobaan berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh kandungan bahan baku yang bervariasi dan acak tiap kali melakukan percobaan meskipun kuantitas yang diolah sama. Hasil dari pengujian ditampilkan dalam table berikut :

Tabel. 2 Hasil Ekstrak Minyak Ikan dan Minyak Kelapa

	Sampel	Hasil Ekstrak (mL)	Massa (kg)	%FFA (% w/w)
Minyak Ikan	1	33	6,8	5,34
	2	41	7,3	6,74
	3	35	6,9	7,36
Minyak Kelapa	1	5	1,9	1,36
	2	6	1,9	1,33
	3	6	2	1,11

Dari tabel Dar

Dari data diatas, minyak ikan memiliki rata – rata hasil ekstrak sebanyak 5,18 mL/kg, lebih banyak dari minyak kelapa, yaitu 2,81 mL/kg. Jika dikalikan masing – masing dengan densitas minyak ikan dan minyak kelapa, persentase hasil ekstrak (% η) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\% \eta = \frac{V_{Minyak} \times \rho_{Minyak}}{m_{Bahan\ Baku}} \times 100\% \quad \text{[Persamaan.1]}$$

Dengan V_{minyak} dan ρ_{minyak} adalah volume ekstrak dan densitas ekstrak dan $m_{bahan\ baku}$ adalah massa bahan baku yang diekstraksi. Setelah dihitung densitas minyak ikan dan minyak kelapa, hasil rata – rata masing – masing adalah 0,868 gram/mL dan 0,838 gr/mL. Persentase ekstrak minyak ikan dan kelapa, rata – rata bernilai 0,45% dan 0,24%. Minyak jelantah yang dicampurkan ke dalam kedua minyak juga diuji. Hasil dari pengujian ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel. 3 Kandungan Minyak Jelantah

	Sampel	%FFA (% w/w)
Minyak Jelantah	1	3,54
	2	3,75
	3	3,65

Selanjutnya setelah minyak ikan, minyak kelapa dan minyak jelantah dicampur dengan perbandingan (1 : 1 : 2), kandungan asam lemak bebas di tunjukkan pada tabel selanjutnya. Angka yang tertera dapat dihitung dengan mengkalikan hasil %FFA pada sampel masing – masing minyak dengan faktor pembanding, kemudian dirata – rata.

Tabel. 4 Kandungan FFA Campuran Minyak

Sampel	%FFA (% w/w)
1	4,59
2	5,10
3	5,26

Setelah proses esterifikasi, jumlah asam lemak bebas dan air berkurang. 3 buah sampel seberat kurang lebih 50 gram di masukkan ke dalam *beaker glass* 100 mL dan ditimbang. Hasil pengujian air dan FFA ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel. 5 Hasil Esterifikasi

No	Berat Awal (gr)	Berat Seteleah di Panaskan 70°C (gr)	Berat Seteleah di Panaskan 100°C (gr)	FFA (%)
1	183,43	183,43	183,42	0,47
2	185,76	185,76	185,73	0,43
3	185,55	185,53	185,50	0,57

Dari data diatas, dapat dihitung bahwa persentase air dari data no 1, 2 dan 3 secara berurut – turut adalah 0,016%, 0,016% dan 0,021%. Kandungan asam lemak bebas dapat diturunkan hingga mencapai 0,43%.

Pengujian sistem kontrol dilakukan dengan cara mengendalikan tes fungsi modul *input* dan *output* Arduino. Tes fungsi modul *input* dilakukan dengan cara memberikan tegangan 12 VDC kepada Arduino yang sudah disambung dengan masing-masing *toggle switch* dan sensor yang digunakan. Tes fungsi modul *output* dilakukan dengan cara menghubungkan pin arduino ke relay module untuk melakukan switching terhadap aktuator yang ada, berupa SV, heater, dan motor. Relay modul tersebut pun dihubungkan langsung dengan sumber daya alat yang dibutuhkan. Setelah dilakukan pengujian, seluruh peralatan instrumentasi bekerja dengan baik.

IV. KESIMPULAN

Unit pemurnian limbah mengandung minyak dan asam lemak menjadi bahan baku biodiesel *plant* dengan menggunakan sistem kontrol semi otomatis berbasis mikrokontroler Arduino telah berhasil dibuat. Minyak ikan dan minyak kelapa dapat diekstraksi menggunakan metode *Wet rendering* tanpa *press* dan *Wet Method*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa rata – rata limbah ikan menghasilkan mengandung 5,18 mL/kg dan ampas kelapa mengandung 2,81 mL/kg. Persentase ekstraksi masing – masing minyak adalah sebesar 0,45% dan 0,24%. Sebelum dilakukan esterifikasi, minyak ikan, minyak kelapa dan minyak jelantah rata – rata memiliki kandungan asam lemak bebas berturut – turut sebanyak 6,70%, 1,72% dan 3,33%. Gabungan kandungan asam lemak bebas dari ketiga minyak tersebut adalah 4,83%. Setelah dilakukan proses esterifikasi dan ekstraksi, kandungan air dan asam lemak bebas berturut – turut menjadi 0,018% dan 0,66 %. Dengan demikian tujuan dibangunnya unit ini telah tercapai.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Hardadi, R. “Kondisi Pasokan dan Permintaan BBM di Indonesia dan Upaya Pertamina Dalam Pemenuhan Kebutuhan BBM Nasional,” Direktorat Pengolahan Pertamina, 2015, pp. 4 – 7.
- [2.] Chai, M; Tu, Q; Yang, J. Y; Lu, M. “Esterification pretreatment of free fatty acid in biodiesel production, from laboratory to industry,” U.S Environmental Protection Agency Papers, 2014.
- [3.] Thanh, L.T; Okitsu, K; Boi, L. V; Maeda, Y. “Catalytic Technologies for Biodiesel Fuel Production and Utilization of Glycerol: A Review,” catalysts ISSN 203-4344, 2012.
- [4.] Kamini; Suptjah, P; Sanotos J; Suseno, S. H. “Ekstraksi Dry Rendering dan Karakterisasi Minyak Ikan dari Lemak Jeroan hasil Samping Pengolahan Salai Patin Siam,” Bogor, Departemen Teknologi Perairan IPB, 2016.
- [5.] Eka, B; Junianto; Rochima, E. “Pengaruh Metode Rendering Terhadap Karakteristik Fisik, Kimia dan organoleptik Ekstrak Kasar Minyak Ikan Lele,” Jurnal Perikanan kelautan vol. VII no. 1, 2016.
- [6.] Anonim. “Extraction and Evaluation of Fish Body Oil From Lesser Sardiness Employing Different Extraction Procedures.”
- [7.] Sulastri, S. “Beberapa Metode Pmebuatan Minyak Kelapa,” Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta, 2005.
- [8.] Asni, N; Yanti, L. “Identifikasi dan Analisis Mutu Minyak Kelapa di Tingkat Petani Provinsi Jambi,” Jambi, Balai Pengkaji Teknologi Pertanian Jambi.
- [9.] Soeka, y. S; Sulisty, J; Naiola, E. “Analisis niokimia Minyak kelapa hasil Ekstraksi secara Fermentasi,” Bogor, Pusat Penelitian Biologi LIPI, 2008.
- [10.] Fariz, M. ‘Production of Virgin Coconut Oil via Centrifugation and Oven Methods,’ Pahang, Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering Universiti Malaysia, 2009.

ANALISIS SISTEM GETARAN PAKSA SATU DERAJAT KEBEBASAN PADA ALAT PENGERING TIPE RAK

La Ode Mohammad Firman¹, I Gede Eka Lesmana², Daud Heru³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Jalan Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan
No. Telp: 085215423797, E-mail: button_island@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sistem getaran dari alat pengering tipe rak ini yang paling mendekati kondisi resonansi guna melompatkan dan membalikkan briket arang sehingga akan meningkatkan efektifitas pengeringan briket arang dengan menggunakan alat pengering tipe rak. Getaran yang terjadi pada rak pengering disebabkan oleh ketidakseimbangan rotasi karena adanya eksitasi yang berasal dari massa eksentrik yang berotasi bersama poros yang dihubungkan dengan motor listrik mengakibatkan gerakan osilasi naik-turun pada rak pengering, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem getaran tersebut adalah getaran paksa dengan satu derajat kebebasan dalam arah vertikal.

Briket arang umumnya dikeringkan dengan dijemur dibawah sinar matahari atau dengan menggunakan alat pengering. Proses pengeringan briket arang akan menghasilkan pengeringan yang kurang merata akibat dari menempelnya briket arang tersebut dengan briket arang lainnya ataupun dengan raknya, sehingga udara pengering tidak mengenai seluruh permukaannya. Oleh karena itu briket arang perlu untuk dibalikkan pada saat proses pengeringannya agar seluruh permukaannya terkena udara pengering secara merata. Untuk memudahkan dan mempercepat proses membalikkan briket arang tersebut, maka pada alat pengering tipe rak ini ditambahkan sistem penggetar yang berfungsi melompatkan dan membalikkan briket arang tanpa perlu membalikkannya secara manual.

Setelah dilakukan analisis terhadap sistem getaran pada alat pengering tipe rak ini, hasilnya menunjukkan bahwa sistem getaran yang paling mendekati kondisi resonansi adalah pada saat beban briket arang seberat 10 kg, beban keseluruhan (beban konstruksi rak pengering dan beban briket arang, M) seberat 45,6 kg, massa eksentrik (m) seberat 0,3 kg dengan eksentrisitas (e) 0,0535 m, putaran motor (n) 200 rpm, dan nilai amplitudo resonansi (MX/me) sebesar 2.561723.

Kata Kunci: getaran, resonansi, pengeringan, briket arang

Abstract

The aim of this research is to find out the vibration system of the tray dryer that close to the resonance state to make the charcoal briquette jump so that will increase the drying effectiveness of the tray dryer. Vibration that occur in tray dryer caused by rotational unbalance due to the excitation from eccentric mass that rotating along with shaft which connected to the electric motor causing the oscilation motion of the tray dryer, so it can be called as a vibration system with forced vibration with one degree of freedom.

Charcoal briquettes are generally dried under the sunlight or by using a dryer. The drying process of charcoal briquettes will result in uneven drying resulting because of the charcoal briquettes are stick with other charcoal briquettes or with the cabinet, so that the drying air does not affect the entire surface of charcoal briquettes. Therefore charcoal briquettes need to be flipped during the drying process so that the entire surface is exposed to the dryer air. To facilitate and accelerate the process of flipping the charcoal briquettes, then on the dryer is added a vibrating system that functions to jump and flip charcoal briquettes without the need to flip it manually.

After analyzing the dryer vibration system, the result shows that the vibration system that produces vibration close to the resonance state is obtained under the conditions of a 10kg charcoal briquette load, the overall load (dryer tray construction load and charcoal briquette load, M) is 45,5 kg, eccentric mass (m) 0,3 kg, with eccentricity(e) 0,0535 m, motor rotation (n) 200 rpm, and the value of resonance amplitude (MX/me) is 2,561723.

Keywords: vibration, resonance, drying, charcoal briquette

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Getaran yang terjadi pada suatu sistem umumnya menimbulkan efek yang tidak dikehendaki, seperti ketidaknyamanan, ketidaktepatan dalam pengukuran atau rusaknya komponen-komponen pada sistem

tersebut. Di sisi lain, getaran juga dapat dimanfaatkan untuk tujuan tertentu, seperti memberikan getaran pada alat pengering briket arang untuk meningkatkan efisiensi pengeringan.

Penelitian yang dilakukan oleh Eko Teguh Ari Prasetyo dengan judul “Dampak Penggunaan Penggetar Terhadap Performansi Alat Pengering Tipe Efek Rumah Kaca”. Menyatakan bahwa dengan menggunakan penggetar, efisiensi pengeringan yang didapat pada penelitian ini mencapai 8,61 – 14,53% dengan beban kakao 76 – 139,9 kg. Sedangkan bila tidak menggunakan penggetar, efisiensi pengeringan yang didapat adalah 5 – 9% dengan beban kakao 70 – 115 kg.[4]

Proses pengeringan briket arang dengan alat pengering sangat tidak efektif karena memerlukan waktu yang cukup lama, membutuhkan operator tambahan untuk membalikkan briket arang tiap selang waktu tertentu, serta akan banyak kehilangan panas (*heat loss*) saat harus buka-tutup alat pengering agar dapat membalikkan briket arang. Oleh karena itu perlu ditambahkan sistem penggetar pada alat pengering tipe rak, agar briket arang dapat melompat didalam rak sehingga memisahkan briket arang yang melekat dalam tumpukan, baik dengan briket arang lainnya maupun dengan rak. Sehingga akan mempercepat proses pengeringan dan meratakan kontak udara pengering dengan seluruh permukaan briket arang yang bertumpuk pada rak pengering. Getaran yang terjadi pada rak pengering disebabkan oleh ketidakseimbangan rotasi karena adanya eksitasi yang berasal dari massa eksentrik yang berotasi bersama poros yang dihubungkan dengan motor listrik mengakibatkan gerakan osilasi naik-turun (gerak translasi vertikal) pada rak pengering yang bertumpu pada 4 pegas.

Penelitian yang dilakukan oleh La Ode Mohammad Firman dengan judul “Pengaruh Getaran dan Energi Panas pada Alat Pengering Surya GHE Tipe Kabinet”. Menyatakan bahwa percobaan dengan beban rak $M = 20$ kg diperoleh bahwa kondisi komoditi yang berada di atas rak sudah dapat lompat pada saat getaran mendekati resonansi yakni terjadi pada $r = 0,96$, putaran $n = 475$ rpm dan massa eksentrik sebesar $m = 0,2$ kg serta nilai $MX/me = 5$. [2]

Pada makalah ini akan diteliti mengenai kondisi sistem getaran pada beberapa variasi beban briket arang, pengaruh massa eksentrik terhadap nilai amplitudo resonansi sistem getaran, serta sistem getaran yang paling mendekati kondisi resonansi agar dapat melompatkan dan membalikkan briket arang didalam rak pengering pada alat pengering tipe rak.

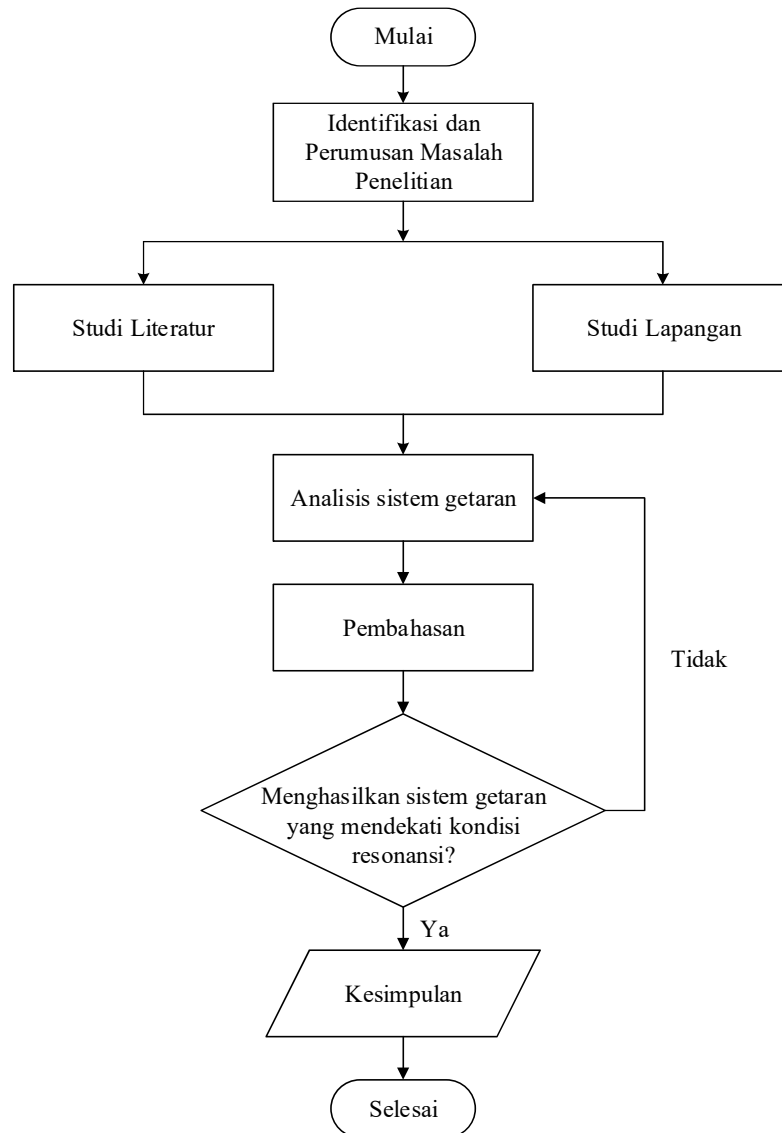
1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Menganalisis kondisi sistem getaran pada saat beban briket arang seberat 10 kg, 20 kg, 30 kg, dan 40 kg.
- Menganalisis pengaruh variasi massa eksentrik seberat 0,3 kg, 0,6 kg, dan 0,9 kg terhadap nilai amplitudo resonansi sistem getaran.
- Menganalisis sistem getaran yang paling mendekati kondisi resonansi.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan analisis sistem getaran, sehingga dapat diketahui kondisi sistem getaran pada beberapa variasi beban briket arang, pengaruh variasi beban massa eksentrik terhadap nilai amplitudo resonansi sistem getaran, serta pengaturan sistem getaran yang paling mendekati kondisi resonansi. Tahapan penelitian yang dilakukan tergambar secara sistematis dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar.1 Diagram Alir Penelitian

a. Identifikasi dan Perumusan Masalah Penelitian

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah dengan mengidentifikasi dan merumuskan masalah dari penelitian ini. Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan pada beberapa alat pengering briket arang yang telah ada, proses pengeringannya menghasilkan pengeringan yang kurang merata akibat dari udara pengering yang tidak mengenai seluruh permukaannya dikarenakan menempelnya briket arang satu dengan yang lainnya ataupun dengan raknya. Oleh karena itu briket arang perlu untuk dibalikkan pada saat proses pengeringannya agar seluruh permukaannya terkena udara pengering, sehingga seluruh briket arang dalam alat pengering akan kering merata. Untuk memudahkan dan mempercepat proses membalikkan tersebut, maka perlu penggunaan sistem penggetar pada alat pengering yang berfungsi melompatkan dan membalikkan briket arang tanpa perlu membalikkannya secara manual.

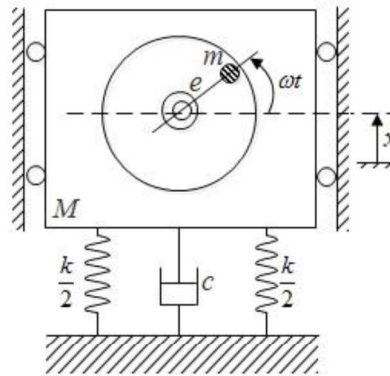
b. Studi Literatur dan Studi Lapangan

Tahap kedua dalam penelitian ini adalah melakukan studi literatur dengan mempelajari mengenai gaya eksitasi yang dapat menimbulkan getaran. Sedangkan pada tahap studi lapangan yang dilakukan adalah mengamati dan mempelajari sistem penggetar pada alat pengering tipe rak. Getaran yang terjadi pada rak pengering disebabkan oleh ketidakseimbangan rotasi karena adanya eksitasi yang berasal dari massa eksentrik yang berotasi bersama poros yang dihubungkan dengan motor listrik mengakibatkan gerakan osilasi naik-turun (gerak translasi arah vertikal) pada rak pengering.

Pada sistem getaran paksa, berarti ada gaya gangguan pada sistem yang berasal dari luar.[3] Gaya luar tersebut dapat berupa gaya eksitasi harmonik paksa yang diperoleh dari ketidakseimbangan yang berputar dan dibatasi untuk bergerak dalam arah vertikal identik dengan persamaan[5]:

$$X = \frac{F_o}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad \text{[Persamaan.1]}$$

Dengan gaya luar (F_o) disubstitusikan oleh $m\omega^2 e$, sehingga menjadi[5]:



Gambar.2 Ketidakseimbangan yang berputar[5]

$$X = \frac{m\omega^2 e}{\sqrt{(k - M\omega^2)^2 + (c\omega)^2}} \quad \text{[Persamaan.2]}$$

Suatu elemen massa yang tidak berputar (M) yang ditopang pegas dengan kekakuan linear sebesar k , akan di dapat frekuensi natural sistem dengan persamaan sebagaimana berikut[1]:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad \text{[Persamaan.3]}$$

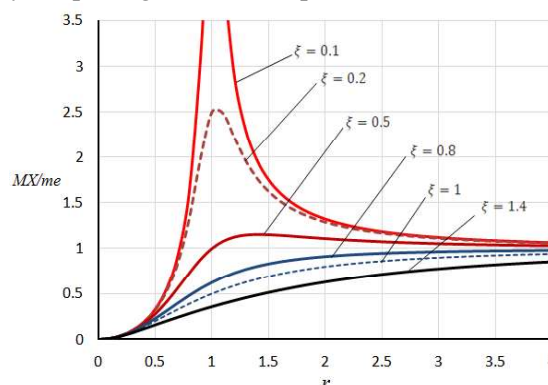
Peningkatan nilai konstanta pegas dapat menyebabkan menurunnya nilai amplitudo resonansi. "Persamaan.2" akan dinyatakan dalam bentuk nondimensional untuk memungkinkan penampilan hasil-hasil ini dalam grafik yang ringkas, menjadi[5]:

$$\frac{MX}{me} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}{\sqrt{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2\right]^2 + \left[2\xi \frac{\omega}{\omega_n}\right]^2}} \quad \text{[Persamaan.4]}$$

$$r = \frac{\omega}{\omega_n} \quad \text{[Persamaan.5]}$$

Rasio frekuensi (r) merupakan perbandingan antara kecepatan sudut putar/frekuensi eksitasi (ω) dengan frekuensi natural (ω_n) sistem, yang mana jika perbandingan keduanya sama dengan 1 maka akan terjadi resonansi pada sistem tersebut.

Dengan mengambil x sebagai simpangan massa yang tidak berputar (M) dari posisi setimbang statik, maka amplitudo resonansinya dapat digambarkan seperti berikut ini[5]:



Gambar.3 Grafik perbandingan MX/me dengan r [5]

Grafik ini menunjukkan bahwa faktor redaman mempunyai pengaruh yang besar terhadap simpangan massa yang tidak berputar (M). Untuk nilai rasio frekuensi kurang dari 1 ($r < 1$), gaya inersia dan gaya redaman adalah kecil. Jadi besar gaya eksitasi (F_o) adalah hampir sama dengan gaya pegas. Untuk nilai rasio frekuensi sama dengan 1 ($r = 1$), gaya inersia dan gaya pegas pada keadaan ini lebih besar, sedangkan gaya eksitasi (F_o) mengatasi gaya redaman sehingga menghasilkan resonansi. Jika diimbangi dengan nilai MX/me yang besar juga maka resonansinya akan semakin hebat. Untuk nilai rasio frekuensi lebih dari 1 ($r > 1$), gaya eksitasi (F_o) dipakai hampir seluruhnya untuk mengatasi gaya inersia yang besar.

c. Analisis Sistem Getaran

Tahap ketiga dalam penelitian ini adalah menganalisis sistem getaran. Diawali dengan memasukkan parameter-parameter seperti kecepatan putar motor listrik, beban briket arang, beban rak pengering, dan beban massa eksentrik ke dalam sebuah tabel.

Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk kemudian dapat diketahui pengaturan kecepatan putar motor, beban briket arang dan beban massa eksentrik yang menghasilkan sistem getaran yang paling mendekati kondisi resonansi yang ditunjukkan melalui grafik perbandingan antara rasio frekuensi dengan amplitudo resonansi (MX/me).

d. Pembahasan

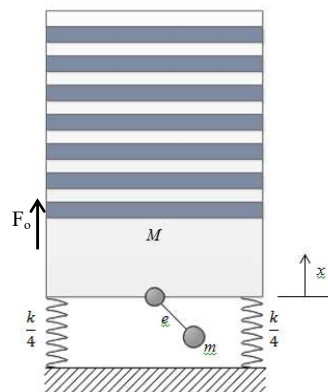
Tahap pembahasan ini bertujuan untuk membahas tabel dan grafik hasil dari analisis yang telah dilakukan.

e. Kesimpulan

Pada tahap terakhir ini merupakan proses untuk menarik kesimpulan atas apa yang dilakukan selama penelitian. Dasar pengambilan kesimpulan diantaranya adalah hasil analisis data dan pembahasan dari hasil data yang telah dikumpulkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem getaran pada rak pengering ini terdiri dari M yang merupakan massa keseluruhan sistem yang tidak bergetar (beban konstruksi rak pengering dan briket arang), m adalah massa eksentrik yang dipasang pada poros dengan eksentrisitas e , k adalah kekakuan/konstanta pegas yang digunakan dalam sistem getaran ini adalah 12262 N/m dan x adalah simpangan massa keseluruhan sistem yang tidak berputar. Motor listrik yang merotasi poros dengan kecepatan n yang akan menghasilkan kecepatan sudut putar/frekuensi eksitasi ω . Hasil dari beban massa eksentrik dengan eksentrisitas yang diputar oleh motor listrik akan menghasilkan gaya eksitasi F_o .



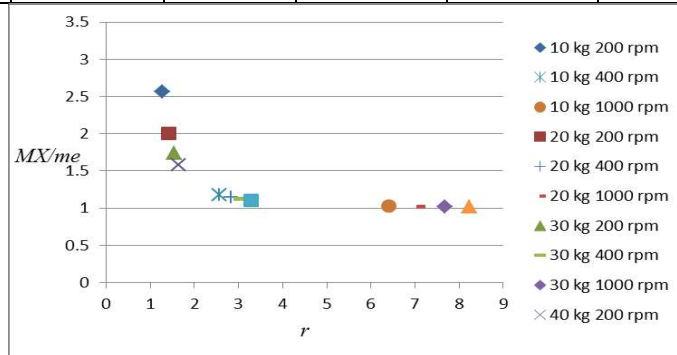
Gambar.4 Model sistem getaran

Analisis sistem getaran dibagi ke dalam 3 tabel berdasarkan beban massa eksentriknya, yaitu 0,3 kg, 0,6 kg, dan 0,9 kg. Tiap tabel terdiri dari 4 variasi beban briket arang, yaitu 10 kg, 20 kg, 30 kg, dan 40 kg dengan beban awal keseluruhan rak pengering yaitu 35,5 kg. Tiap beban briket arang akan divariasikan dengan 3 tingkat kecepatan putar motor yaitu 200 rpm, 400 rpm, dan 1000 rpm. Dari parameter-parameter yang telah ditentukan tersebut, kemudian akan didapatkan kecepatan sudut putar/frekuensi eksitasi dan frekuensi natural. Dari kecepatan sudut putar/frekuensi eksitasi dan frekuensi natural sistem didapatkan rasio frekuensi dan amplitudo resonansi.

a. Analisis Sistem Getaran dengan Massa Eksentrik seberat 0,3 kg

Tabel.1 Sistem getaran dengan massa eksentrik seberat 0,3 kg

Beban Keseluruhan [M] (kg)	Beban Briket Arang (kg)	Massa Eksentrik [m] (kg)	Putaran Motor [n] (RPM)	Kec. Sudut Putar [ω] (rad/s)	Frekuensi Natural [ω _n] (rad/s)	Rasio Frekuensi [r]	$\frac{MX}{me}$
45,5	10	0,3	200	20.93333	16.3446	1.280749	2.561723
		0,3	400	41.86667	16.3446	2.561498	1.179815
		0,3	1000	104.6667	16.3446	6.403746	1.024995
55,5	20	0,3	200	20.93333	14.8106	1.413395	2.002319
		0,3	400	41.86667	14.8106	2.826791	1.143046
		0,3	1000	104.6667	14.8106	7.066976	1.020432
65,5	30	0,3	200	20.93333	13.6407	1.534619	1.737978
		0,3	400	41.86667	13.6407	3.069237	1.118762
		0,3	1000	104.6667	13.6407	7.673093	1.017278
75,5	40	0,3	200	20.93333	12.7104	1.646943	1.583968
		0,3	400	41.86667	12.7104	3.293886	1.101526
		0,3	1000	104.6667	12.7104	8.234716	1.014968



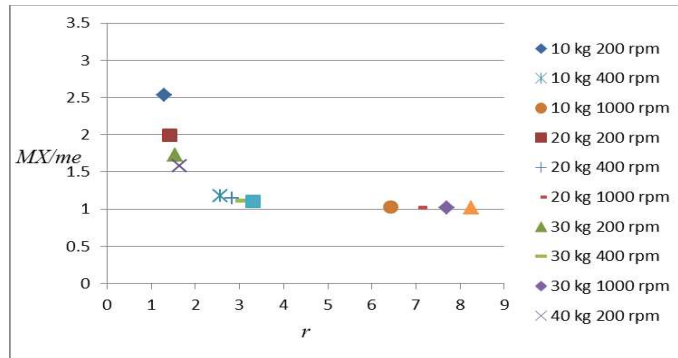
Gambar.5 Grafik hubungan antara amplitudo resonansi dengan rasio frekuensi

Dari grafik diatas diketahui bahwa kondisi yang mendekati keadaan resonansi atau nilai rasio frekuensi mendekati 1 adalah saat beban briket arang seberat 10 kg, putaran motor listrik 200 rpm, nilai amplitudo resonansi sebesar 2.588317, amplitudo sejauh 1,9 mm dengan gaya eksitasi 7,033 N.

b. Analisis Sistem Getaran dengan Massa Eksentrik seberat 0,6 kg

Tabel.2 Sistem getaran dengan massa eksentrik seberat 0,6 kg

Beban Keseluruhan [M] (kg)	Beban Briket Arang (kg)	Massa Eksentrik [m] (kg)	Putaran Motor [n] (RPM)	Kec. Sudut Putar [ω] (rad/s)	Frekuensi Natural [ω _n] (rad/s)	Rasio Frekuensi [r]	$\frac{MX}{me}$
45,5	10	0,6	200	20.93333	16.2914	1.284928	2.536005
		0,6	400	41.86667	16.2914	2.569856	1.178439
		0,6	1000	104.6667	16.2914	6.424639	1.024829
55,5	20	0,6	200	20.93333	14.7710	1.417183	1.991663
		0,6	400	41.86667	14.7710	2.834366	1.142174
		0,6	1000	104.6667	14.7710	7.085914	1.020321
65,5	30	0,6	200	20.93333	13.6098	1.538108	1.732185
		0,6	400	41.86667	13.6098	3.076215	1.11816
		0,6	1000	104.6667	13.6098	7.690538	1.017199
75,5	40	0,6	200	20.93333	12.6853	1.650195	1.580335
		0,6	400	41.86667	12.6853	3.300390	1.101086
		0,6	1000	104.6667	12.6853	8.250974	1.014908



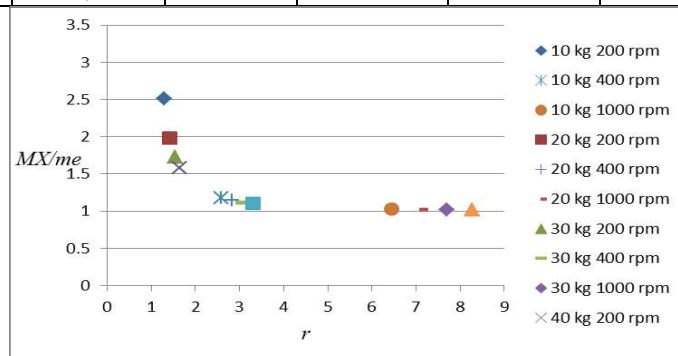
Gambar.6 Grafik hubungan antara amplitudo resonansi dengan rasio frekuensi

Dari grafik diatas diketahui bahwa kondisi yang mendekati resonansi atau nilai rasio frekuensi mendekati 1 adalah saat beban briket arang seberat 10 kg, putaran motor listrik 200 rpm dan nilai amplitudo resonansi sebesar 2.588317, amplitudo sejauh 1,8 mm dengan gaya eksitasi 14,066 N.

c. Analisis Sistem Getaran dengan Massa Eksentrik seberat 0,9 kg

Tabel.3 Sistem getaran dengan massa eksentrik seberat 0,9 kg

Beban Keseluruhan [M] (kg)	Beban Briket Arang (kg)	Massa Eksentrik [m] (kg)	Putaran Motor [n] (RPM)	Kec. Sudut Putar [ω] (rad/s)	Frekuensi Natural [ω _n] (rad/s)	Rasio Frekuensi [r]	$\frac{MX}{me}$
45,5	10	0,9	200	20.93333	16.2388	1.289093	2.511121
		0,9	400	41.86667	16.2388	2.578186	1.177084
		0,9	1000	104.6667	16.2388	6.445464	1.024665
55,5	20	0,9	200	20.93333	14.7318	1.420960	1.981231
		0,9	400	41.86667	14.7318	2.841921	1.141313
		0,9	1000	104.6667	14.7318	7.104802	1.020211
65,5	30	0,9	200	20.93333	13.5790	1.541589	1.726482
		0,9	400	41.86667	13.5790	3.083178	1.117564
		0,9	1000	104.6667	13.5790	7.707944	1.017120
75,5	40	0,9	200	20.93333	12.6604	1.653440	1.576747
		0,9	400	41.86667	12.6604	3.306880	1.100650
		0,9	1000	104.6667	12.6604	8.267200	1.014849



Gambar.7 Grafik hubungan antara amplitudo resonansi dengan rasio frekuensi

Dari grafik diatas diketahui bahwa kondisi yang mendekati resonansi atau nilai rasio frekuensi mendekati 1 adalah saat beban briket arang seberat 10 kg, putaran motor listrik 200 rpm dan nilai amplitudo resonansi sebesar 2.588317, amplitudo sejauh 2,7 mm dengan gaya eksitasi 21,099 N.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada sistem getaran alat pengering tipe rak, dapat disimpulkan bahwa:

- a. Kondisi sistem getaran yang diperoleh pada beban briket arang tiap 10 kg, 20 kg, 30 kg, dan 40 kg menjelaskan bahwa peningkatan kecepatan putar motor mengakibatkan meningkatnya kecepatan sudut putar/frekuensi eksitasi sistem getaran. Berbanding terbalik dengan amplitudo resonansi yang terus menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan putar motor.
- b. Semakin berat massa eksentriknya, maka akan semakin kecil nilai amplitudo resonansinya.
- c. Sistem getaran yang paling mendekati kondisi resonansi terjadi pada beban briket arang 10 kg dengan putaran motor 200 rpm menghasilkan rasio frekuensi sebesar 1,28079.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis sehingga berhasil menyelesaikan penelitian dan makalah ini. Serta terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila yang telah memberikan kepercayaan dan bantuan kepada penulis untuk melakukan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewanto, Joni, "Kajian Teoritik Sistem Peredaman Getaran Satu Derajat Kebebasan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 01, no. 02, pp. 156 - 162, Oktober 1999.
- [2] Firman, La Ode Mohammad, "Pengaruh Getaran dan Energi Panas pada Alat Pengering Surya GHE Tipe Kabinet," Institut Pertanian Bogor, Bogor, Disertasi Doktor 2012.
- [3] Malta, Jhon, "Uji Performance Meja Getar Satu Derajat Kebebasan dengan Metode STFT," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 01, no. 02, pp. 47 - 52, Desember 2004.
- [4] Prasetyo, Eko Teguh Ari, "Dampak Penggunaan Penggetar Terhadap Performansi Alat Pengering Tipe Efek Rumah Kaca," Institut Pertanian Bogor, Bogor, Skripsi Sarjana 2000.
- [5] Thompson, William T., *Theory of Vibration With Applications*, 2nd ed. California, United States of America: Prentice-Hall, Inc, 1981.

REKAYASA MATERIAL

MODIFIKASI RODA *HOIST GANTRY CRANE* KAPASITAS 3 TON

Abdurrahman Syifa Ulinuha¹; Nur Halim¹; Rulan Fazriawan¹; Shobi Anggoro Rabbani¹; Almahdi²;
Sidiq Ruswanto²

Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹Rfazri27@gmail.com

Abstrak

Hoist gantry crane (HGC) merupakan pesawat angkat yang dipakai sebagai alat pengangkat dan pengangkut di bengkel maupun pabrik. HGC dimodifikasi untuk mempermudah mengangkat dan pengangkut benda-benda yang beratnya <3 Ton pada bengkel Teknik Mesin PNJ yang mana HGC tersebut hanya dapat bergerak naik, turun, ke depan dan ke belakang. Desain HGC menggunakan bahan H Beam dan Besi Hollow persegi ST42 yang digunakan sebagai rangka. Modifikasi HGC tersebut dengan mengganti roda yang sebelumnya berbahan rubber yang berukuran 6 inch dengan 2 roda yang bergerak ke segala arah dan 2 roda lainnya yang hanya bergerak ke satu arah (tidak berputar) menjadi 4 roda yang dapat bergerak ke segala arah (berputar) dan menggunakan roda yang berbahan besi, modifikasi tersebut dengan menambahkan chain hoist sebagai alat pengangkat berkapasitas 3 Ton. Rangka H Beam pada HGC digunakan untuk menahan pembebanan melintang dan hollow sebagai kaki tegak membantu H Beam untuk berdiri tegak dan menahan beban benda-benda yang diangkat. Konstruksi HGC memanfaatkan fungsi roda yang menjadikan HGC bersifat portable dan mudah dipindahkan. Kelebihan dari desain HGC tersebut tidak memakan banyak tempat ketika dioperasikan, dapat mengangkat benda yang beratnya < 3 Ton, mudah dioperasikan, dapat bergerak ke segala arah dan dapat digunakan tanpa menggunakan listrik/bahan bakar. Hasil modifikasi HGC akan digunakan sebagai alat bantu untuk mengangkat mold base mesin molding atau benda-benda lain yang beratnya mencapai < 3 Ton, sehingga mold base dapat ditukar dengan mold base lainnya dan benda-benda berat di bengkel Teknik Mesin lainnya dapat diangkat serta dipindahkan.

Kata kunci : Hoist Gantry Crane, Bengkel Mesin, Roda Besi..

Abstract

Hoist gantry crane (HGC) is a lift plane that is used as a lifter and carrier in the workshop and the factory. HGC is modified to make it easier to lift objects that weighs <3 Ton in PNJ mechanical workshops and HGC can only move up, down, front and back. HGC design using H beam material and square hollow iron ST42 used as frame. This Modification HGC replaces the previous rubber wheels, size 6 inch, 2 wheels moving all directions and 2 other wheels only in one direction (not rotate) into 4 wheels that can move all directions (rotating) and made from cast iron, this modification add chain hoist as a lift tool with a capacity of 3 Ton. The H beam skeleton on the HGC is used to withstand transverse and hollow loading as the upright legs help the H beam to stand upright and hold the load on the raised base. HGC constructions utilize wheel functions that make the hoist gantry crane portable and easy to move, The advantages of the HGC design is it does not take up much space when operated, can lift heavy tools < 3 Ton, easy to operate, can move in all direction and can be used without electricity/fue . The modified HGC will be used as a tool to lift the mold base of the molding machine or other objects weigh up to < 3 Ton so that the mold base can be exchanged with other mold bases and heavy objects in other mechanical engineering workshops can be lift and move.

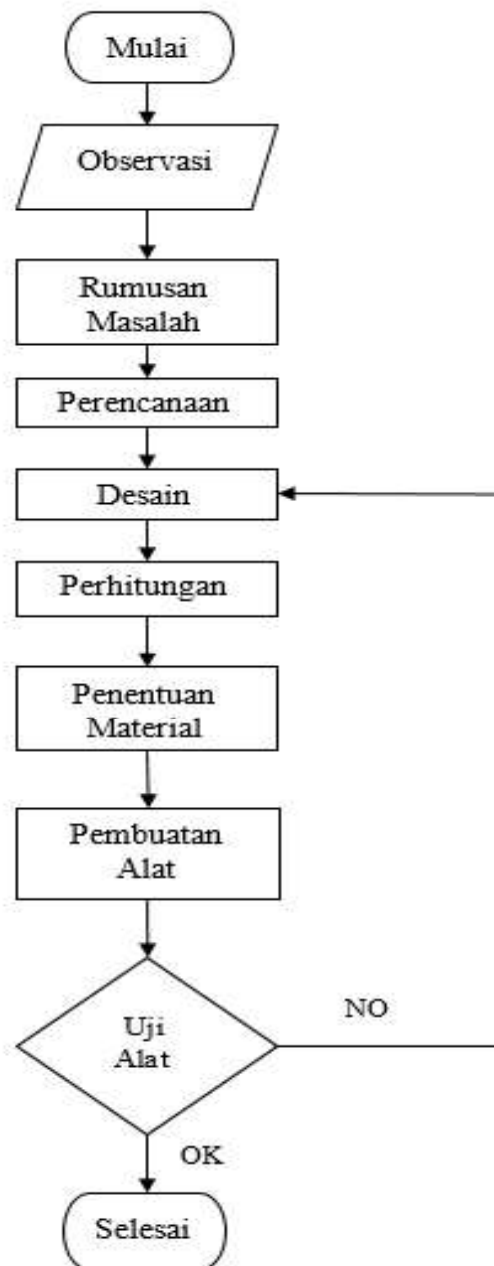
Keyword : Hoist gantry crane, mechanical workshops, Iron Wheels

1. PENDAHULUAN

Hoist Gantry Crane (HGC) merupakan satu diantara jenis pesawat angkat yang dipakai sebagai alat pengangkat. [7] Jenis pesawat angkat yang terdapat di Bengkel Teknik Mesin PNJ yaitu *HGC* yang digunakan untuk mengangkat alat atau benda yang beratnya kurang dari 3 Ton. Penggunaan *HGC* di Bengkel Teknik Mesin untuk mobilisasi alat-alat masih belum optimal, karena *HGC* tidak fleksibel atau tidak dapat bergerak ke segala arah. *HGC* yang sudah ada saat ini masih belum berjalan sesuai fungsinya dan hanya dapat bergerak naik, turun, dan berjalan satu arah saja. Oleh karena itu, dirancang *HGC* yang digunakan untuk mengangkat benda-benda berat yang dapat bergerak naik, turun, ke kanan, ke kiri, sehingga proses mobilisasi alat atau benda di Bengkel Teknik Mesin PNJ dapat berjalan secara efektif, selamat, dan efisien.

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian ditunjukkan sebagaimana Gambar 1.

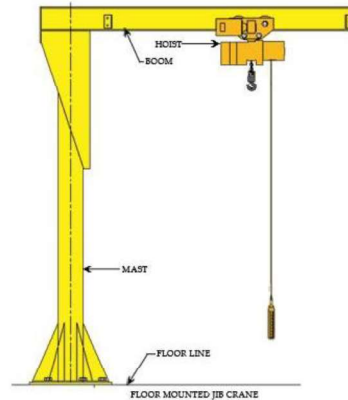


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

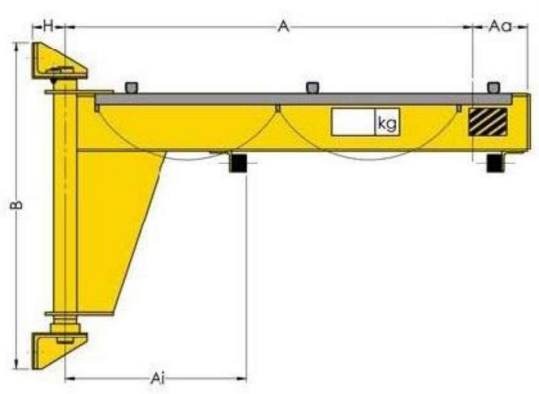
3. KAJIAN PEMBANDING

Kajian digunakan sebagai pembandingan dalam menganalisis permasalahan berdasarkan kebutuhan yang ditujukan pada struktur yang biasa digunakan pada *crane*.

A. Portable Jib Crane



Gambar 2.3.1 (a) *Jib Crane* pilar tetap di lantai [2]



Gambar 2.3.1 (b) *Jib Crane* pilar tetap di dinding [2]

Jib crane terdiri dari pilar tetap ke dinding atau dipasang di lantai. Pilar mendukung *Jib horizontal* atau *boom* yang memiliki kerekan yang dapat digerakkan. *Hoist* digunakan untuk mengangkat atau menurunkan beban dengan bantuan *drum*, atau roda-angkat, yang memiliki rantai atau tali melilitnya. *Drum* digerakkan secara elektrik atau pneumatik, dan dapat dioperasikan secara manual. Media pengangkat biasanya berupa rantai, tali serat atau kabel kawat. Beban diangkat dengan bantuan kait pengangkat yang menempel pada media pengangkat. [2]

- Kelebihan:
 - Tidak membutuhkan ruang yang luas [5]
 - Desain bearing memberikan kemudahan untuk penyesuaian balok horizontal serta pengaturan untuk mengontrol gerakan yang tidak diinginkan, atau drifting, dari balok *jib* dan troli, untuk operasi yang aman dan efisien. [5]
- Kekurangan:
 - Struktur *crane* ini sulit untuk dimobilisasi karena dipasang pada pondasi

B. Mobile Crane



Gambar 2.3.2 Mobile Crane [5]

Mobile crane adalah jenis pesawat pengangkat yang dikonstruksi atau dibuat khusus untuk mengangkat dan menurunkan beban secara tegak lurus serta memindahkannya secara mendatar yang dapat bekerja pada areal yang luas dalam satu areal pabrik atau lokasi konstruksi.[7]

- Kelebihan:
 - Kapasitas mengangkatnya besar untuk pengangkatan biasa (*light duty crane*).[7]
 - Tingkat mobilitasnya tinggi sesuai untuk operasi jarak jauh dan berpindah-pindah. [7]
- Kekurangan:
 - Membutuhkan area yang luas untuk mobilisasi.[7]

C. Desain struktur *Hoist Gantry Crane (HGC)*



Gambar 4. Struktur *Hoist Gantry Crane (HGC)*

Desain Struktur *HGC* sebagaimana Gambar 4 memiliki 2 tumpuan yang masing-masing tumpuannya memiliki 2 roda, sehingga struktur dapat dipindahkan jika tidak dioperasikan.

D. Analisis kebutuhan

- Dapat menahan beban maksimum 3 ton,
- Dapat digunakan pada ruang sempit,
- Tinggi pengangkat mencapai ±2 m, dan
- Dapat dipindahkan jika tidak digunakan.

Tabel 1. Kajian pembanding berdasarkan kebutuhan [1]

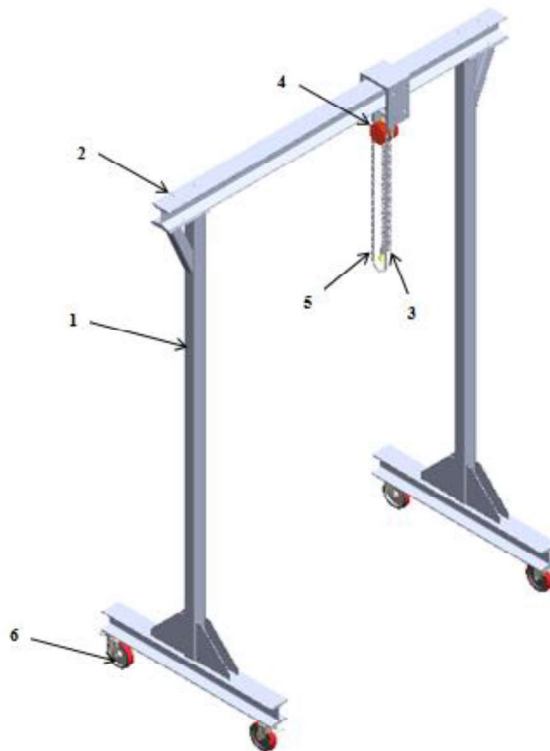
Kebutuhan \ Pembanding	Struktur <i>Portable Jib Crane</i>	Struktur <i>Mobile crane</i>	Struktur <i>Hoist Gantry Crane</i>
Dapat menahan beban maksimum 3 Ton	V	V	V
Dapat digunakan pada ruang sempit	V	X	V
Tinggi pengangkat mencapai ±2 m	V	V	V
Dapat dipindahkan jika tidak digunakan	X	V	V

Berdasarkan analisis kebutuhan dari kajian pembanding, maka dipilihlah struktur *HGC*. Penggunaan struktur *HGC* dapat digunakan pada ruang yang sempit, dapat mengangkat beban hingga 3 Ton dan dapat dipindahkan jika tidak digunakan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Desain Modifikasi *HGC*

HGC merupakan satu kesatuan dari *hoist* dan *gantry crane* yang menunjang sistem *crane* yang lebih lengkap. Beberapa komponen yang diperlukan dalam pembuatan modifikasi *HGC* sebagaimana Tabel 2.



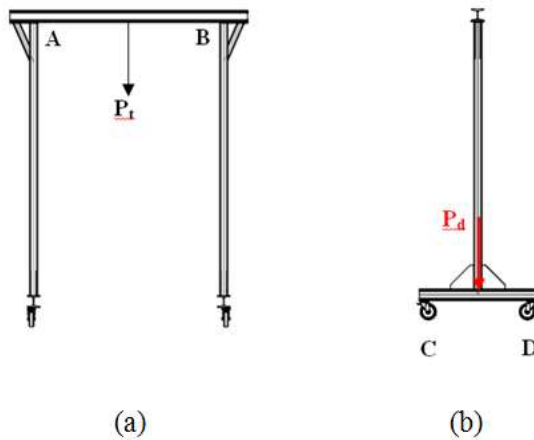
Gambar 5. Komponen-komponen Struktur *HGC*

Tabel 2. Nama Komponen Struktur *HGC*

Nomor Komponen	Nama Komponen	Jumlah
1	Tiang Penyangga Vertikal (<i>Mast</i>)	2
2	Tiang Penyangga Horizontal (<i>Jib</i>)	3
3	<i>Crane Hook (Tackle)</i>	1
4	Katrol	1
5	<i>Chain</i>	3
6	<i>Steel Wheel Trolley</i>	4

b. Penghitungan Gaya-gaya yang bekerja pada HGC

Gaya-gaya yang bekerja pada HGC sebagaimana Gambar 6.



Gambar 6. Gaya-gaya yang bekerja pada HGC (a) Batang Atas dikenai Tegangan Tarik oleh Beban, dan (b) Batang Vertikal dikenai Tegangan Tekan oleh Beban di atasnya

Tegangan Tekan

$$\sigma_d = \frac{P_d}{A} \quad \text{[Persamaan.1]}$$

dengan : σ_t : Tegangan Tekan (kg/mm^2)
 P_d : Beban Total (kg)
 A : Luasan Tekan (mm^2) [3]

Tegangan Tarik

$$\sigma_t = \frac{P_t}{A} \quad \text{[Persamaan.2]}$$

dengan : σ_d : Tegangan Tarik (kg/mm^2)
 P_d : Beban Total (kg)
 A : Luasan Tarik (mm^2) [3]

Tegangan Geser [1]

$$\tau_g = \frac{P_g}{A} \quad \text{[Persamaan.3]}$$

dengan : τ_g : Tegangan Tarik (kg/mm^2)
 P_g : Beban Total (kg)
 A : Luasan (mm^2) [3]

Tegangan Bengkok

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad [\text{Persamaan.4}]$$

dengan : σ_b : Tegangan Bengkok (kg/mm²)
 M_b : Momen Bengkok (kg.mm)
 W_b :Tahanan Bengkok (mm³) [4]

Tegangan Kombinasi

$$\sigma_{\text{tar(maks)}} = \frac{\sigma_t}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau_g^2} \quad [\text{Persamaan.5}]$$

$$\tau_{g(\text{maks})} = \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_t^2 + 4\tau_g^2} \quad [4] \quad [\text{Persamaan.6}]$$

Gaya yang terjadi pada ulir

$$F_{\text{ul}} = \frac{F}{n}, \text{ dengan } n: \text{jumlah baut} [4] \quad [\text{Persamaan.7}]$$

Tegangan Tarik Ulir

$$\tau_g = \frac{4F}{\pi \times d_c^3} \quad [\text{Persamaan.8}]$$

dengan : F : Beban (kg)
 d_c : Diameter dalam baut
 τ_g : Tegangan Geser (kg/mm²) [4]

5. KESIMPULAN

Beberapa hal penting yang harus diperhatikan pada saat struktur tersebut mulai diproses fabrikasi perlu diperhatikan bahwa struktur tersebut mudah untuk dilakukan perawatan, mampu menahan beban < 3 Ton, efisiensi fabrikasi dan umur struktur yang *long life*.

Berdasarkan hasil desain yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa desain HGC untuk mengangkat barang layak dikonstruksikan. Mesin tersebut dapat mengangkat barang untuk beban < 3 Ton dan rodanya dapat bergerak ke segala arah.

HGC memiliki spesifikasi:

1. Dapat mengangkat barang setinggi 2 m,
2. Berat maksimal beban yang dapat diangkat oleh modifikasi HGC adalah kurang dari 3 Ton,
3. Dapat dioperasikan pada ruangan yang sempit, dan
4. Dapat dioperasikan tanpa aliran listrik.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agung, F., Ariwibowo, F., Chairindo, L. A., Mukhlis, S. A., "Rancang Bangun Struktur Crane Untuk Beban Maksimum 3 TON". Depok : PNJ, 2016.
- [2] Kantharia, Raunek. "What are Jib Crane?", *Brighthub Engineering*, 22 Juli 2009, https://www.brighthubengineering.com/structural-engineering/42889-what-are-jib-cranes/#imgn_1. [diakses 10 Juli 2018].
- [3] Pawirodikromo, Widodo. "Analisis Tegangan Bahan." Yogyakarta : Pustaka Pelajar, 2014.
- [4] Pramono, A.E. "Buku Ajar Elemen Mesin I". Depok : PNJ, 2015.

- [5] Snook, Chuck. “*Jib Cranes Advantage: Adjustable Console Bearing*”, *Expert Articles*, <https://www.konecranesusa.com/resources/expert-articles/jib-cranes-advantage-adjustable-console-bearing/> [diakses 10 Juli 2018].
- [6] Wilson, Chris. “*3 benefit of using mobile crane*”, *3 benefit of*, 11 Juli 2018, <http://www.3benefitsof.com/3-benefits-of-using-mobile-crane/> [diakses 11 Juli 2018]
- [7] Zainuri, Muhib. “Mesin Pemindah Bahan”. Yogyakarta. 2010.

**PENGARUH FRAKSI VOLUME DAN ORIENTASI SERAT TERHADAP KEKUATAN
TARIK KOMPOSIT BERBAHAN SERAT RAMI EPOXY SEBAGAI BAHAN
ALTERNATIF KOMPONEN OTOMOTIF**

Andi Saidah, Sri Endah Susilowati, Yos Nofendri

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta Kampus Sunter Agung,
Sunter Podomoro, Jakarta 14130.

No. Hp.081310753398, E-mail : andisaidah@yahoo.co.id

ABSTRAK

Memprediksi kekuatan komposit berbahan serat rami epoxy, dengan orientasi sudut yang berbeda, untuk menghitung tegangan tarik yang terjadi pada material tersebut untuk aplikasi pada komponen industri otomotif. Metodologi penelitian yang digunakan dalam pembuatan material komposit adalah dengan metode filament winding, dan untuk perhitungan secara teoritis untuk mengetahui kekuatan tarik komposit dengan menggunakan software MadCad, dan melakukan pengujian. Pada penelitian ini dipelajari pengaruh fraksi volume serat rami terhadap sifat tarik berpenguat serat rami epoxy dengan fraksi volume serat rami sebesar 30%, 40%, dan 50%. Pada orientasi sudut 0°, 90° dengan mengacu pada ASTM D 3039/D 3039M. [1-3].

Hasil penelitian kekuatan tarik dengan fraksi volume 30%, 40% , dan 50% berturut-turut adalah 25,631 Mpa, 16,465 Mpa, dan 12,277 Mpa dengan Modulus Elastisitasnya 2,178 GPa , 3,254 Gpa, dan 3,391 Gpa, dengan orientasi serat type unidirectional Lamina dengan sudut 90° , dan untuk orientasi serat type unidirectional Lamina dengan sudut 0°, dengan fraksi volume 30%, 40% , dan 50% berturut-turut adalah 139,219 Mpa, 223,392 MPa, dan 248,677 MPa, Modulus Elastisnya berturut-turut 6,326 Gpa, 6,781 Gpa, dan 8,301 Gpa. dan untuk kekuatan tarik standar bumper adalah sebesar 8,09 MPa sehingga komposit yang diperkuat serat rami epoxy layak menjadi material alternative dalam pembuatan komponen otomotif jika ditinjau dari kekuatan tarik.

ABSTRACT

Predicting the strength of ramie fiber reinforced epoxy composites with different orientation angles is for calculating the tensile strength that occurs in its material for applications on automotive industry components. The research methodology used in the manufacture of composite material is filament winding method and theoretical calculation which to find out the tensile strength of composites is by using MadCad software then perform the testing. In this research it was studied the effect of ramie fiber volume fraction towards the tensile properties of ramie fiber reinforced epoxy with 30%, 40%, and 50% volume fraction of ramie fiber. At orientation angle of 0° and 90° following the ASTM D 3039/D 3039M standard.

The result test of tensile strength with 30%, 40%, and 50% volume fraction are 25.631 MPa, 16.465 MPa, and 12.277 MPa with elastic modulus 2.178 GPa, 3.254 GPa, and 3.391 GPa, with the fiber orientation angle of unidirectional lamina type is 90°. For fiber orientation angle of unidirectional lamina type in 0° direction with 30%, 40%, and 50% volume fraction are 139.219 Mpa, 223.392 MPa, and 248.677 MPa, and the elastic modulus are 6.326 GPa, 6.781 GPa, and 8.301 GPa. The standard tensile strength of bumper is 8.09 MPa so that ramie fiber epoxy composites is suitable to be the alternative material in the manufacture of automotive components if reviewed from the tensile strength.

Kata Kunci : Berpenguat Serat Rami, Resin Epoxy, Kekuatan Tarik, komponen otomotif

1. Pendahuluan

Produksi otomotif dunia yang terus berkembang dalam memenuhi kebutuhan konsumen, Indonesia termasuk salah satu pasar otomotif paling potensial di dunia, penjualan mobil di Indonesia pada 2013 mencapai 1,22 juta unit meningkat 10% dari tahun sebelumnya sebanyak 1,12 juta. Produksi mobil di Indonesia, selain untuk dijual di pasar domestik, para produsen otomotif juga mengeksplor mobil dan motor dengan jumlah

yang besar. Industri otomotif Indonesia secara keseluruhan telah mengekspor produk otomotif mulai dari motor, mobil dan berbagai komponen ke berbagai negara. Tahun 2013, ekspor produk otomotif secara keseluruhan (kelompok HS 87) nilainya tercatat mencapai US\$ 4,6 miliar. Angka produksi dan penjualan kendaraan bermotor tentunya menjadi cerminan potensi pasar suku cadang, aksesoris dan perlengkapan mobil dan motor. Dari total nilai tersebut, komponen otomotif yang tergolong dalam kelompok (HS 8708) -- berupa komponen dan aksesoris kendaraan bermotor-- tahun 2013 tercatat US\$ 1,42 milyar, berkontribusi sebesar 31,04% dari total ekspor produk otomotif. Pemerintah Indonesia terus berupaya mengembangkan investasi bagi industri komponen otomotif, mengingat Indonesia merupakan salah satu negara berpotensi bagi pengembangan industri ini. Penjualan kendaraan yang menembus 1,1 juta unit per tahun dan mengalirnya investasi yang begitu gencar ke Indonesia, akan berimbas pada terdorongnya industri komponen otomotif. [4-8].

Industri komponen otomotif Jawa Barat saat ini dalam kondisi mengkhawatirkan. Pemicunya adalah harga bahan baku naik akibat nilai tukar rupiah melemah terhadap dolar Amerika Serikat. Bahan baku atau material yang masih impor di antaranya aluminium, biji plastik, dan komponen karet. Ketua Bidang Komunikasi Asosiasi Industri Automotif Nusantara (Asia Nusa) Dewa Yuniardi mengatakan kenaikan harga bahan baku tersebut tidak diiringi dengan peningkatan harga produk. Menurut Dewa, kondisi ini menyebabkan pemesanan produk komponen, terutama *aftermarket*, mengalami penurunan. Selain itu, persaingan komponen lokal semakin kalah akibat banjirnya produk impor ke dalam negeri. "Komponen *aftermarket* yang diproduksi belum bisa bersaing dengan produk impor karena harganya jauh lebih murah," ujar Dewa kepada *Bisnis.com*, Kamis, 16 April 2015. [8-14].

Kebutuhan material untuk sebuah produk cenderung bertambah. Penggunaan material logam pada berbagai komponen produk terutama otomotif semakin berkurang, Hal ini diakibatkan oleh komponen otomotif yang terbuat dari logam relatif berat dan mahal, proses pembentukannya relatif susah, mudah terkorosi dan biaya produksinya mahal. Oleh karena itu banyak dikembangkan material lain yang mempunyai sifat dan karakteristik sesuai dengan yang diinginkan. Salah satu material yang banyak dikembangkan saat ini adalah komposit. Secara umum komposit tersusun dari material pengikat (*matrix*) dan material penguat (*reinforce*). Logam, keramik dan *polymer*, dapat digunakan sebagai material pengikat pada pembuatan komposit tergantung sifat yang ingin dihasilkan. Namun *polymer* merupakan material yang paling luas digunakan sebagai *matrix* dalam komposit modern yang lebih dikenal dengan *reinforced plastic*. [10-14].

2. Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian experimental yang terdiri dari :

A. Variasi Spesimen

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan spesimen berbentuk plat dan menggunakan 3 variasi material uji. yaitu resin yang diperkuat serat rami dengan metode fabrikasi filament winding, masing-masing dengan fraksi volume 30%, 40% ,dan 50%.

B. Disain dan Metode Penelitian

Kegiatan penelitian yang akan dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat mekanis serat rami epoxy, kemudian bahan komposit serat rami – epoxy dengan menggunakan metode eksperimental analisis, yaitu dengan melakukan beberapa pengujian serat, matriks, dan komposit serta memperhatikan pengujian sebagai bahan bumper otomotif sesuai dengan standard yang berlaku (ASTM dan SAE).

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui mechanical properties material adalah uji tarik komposit dengan mangacu pada standar pengujian standar ASTM (American Society for Testing Materials) yaitu ASTM D 3039/D 3039M untuk uji tarik dan ASTM D 4255/D 4255M, untuk uji Pengujian material sebagai bahan bumper otomotif dengan mangacu standard SAE (Society of Automotive Engineering) yaitu SAE J 1717 untuk uji komponen otomotif.

C. Proses Manufaktur Material Komposit Serat rami - Epoksi

Terdapat berbagai jenis proses dalam pembuatan komposit. Masing – masing proses memiliki karakteristik baik bentuk cetaknya ataupun proses castingnya. dalam proses pembuatan material komposit serat rami,

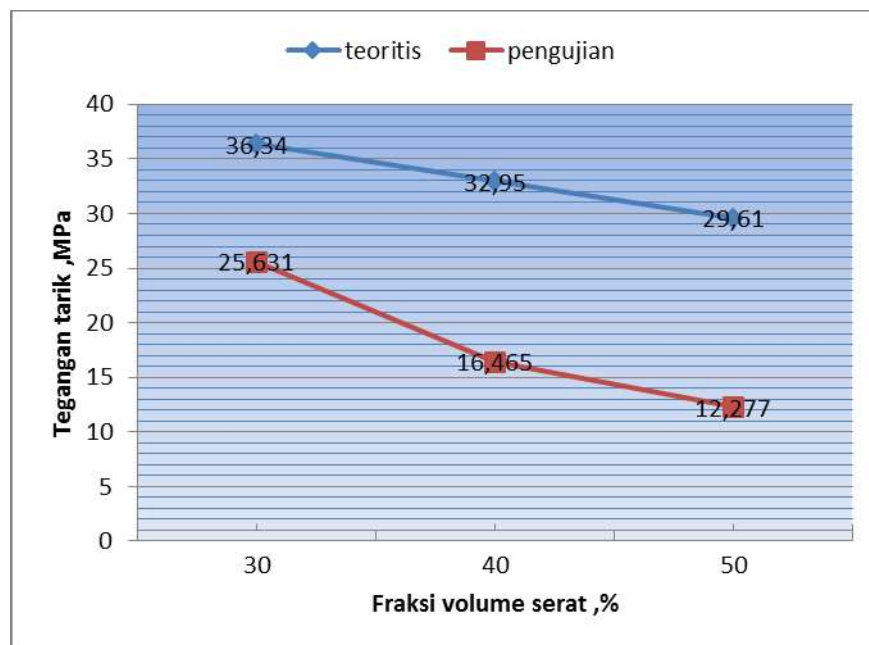
metode yang dilakukan adalah dengan menggunakan cetakan. Adapun Langkah – langkah fabrikasi komposit yang akan dilakukan terdiri dari:

- Preparation
- Wet lay-up
- Bagging
- Curing
- Debagging
- Finishing

Proses ini merupakan proses yang paling sederhana dari proses – proses lainnya. Dalam proses ini dibutuhkan peralatan seperti: cetakan dan kuas/roller. Proses diawali dengan melapisi permukaan cetakan dengan bahan pelepas (release agent) berupa wax atau silicon untuk memudahkan pelepasan komposit dari cetakannya. Setelah itu serat rami diletakkan pada permukaan cetakan dan cairan resin dilapiskan pada serat tersebut. Untuk mencegah gelembung – gelembung udara yang terperangkap digunakan roller atau kuas sekaligus untuk meratakan resin. Untuk memperkuat komposit, proses dapat dilanjutkan dengan menambah satu atau lebih serat lagi pada cetakan dan diulangi dengan proses pelapisan resin. Proses selanjutnya adalah menunggu resin mengeras atau kering. Resin dapat mengeras setelah sebelumnya dicampur dengan katalis atau cairan pengeras. Pengeringan ini dapat dilakukan pada suhu ruangan atau dapat dipercepat dengan menaikkan temperature ruangan atau menjemur cetakan pada ruangan terbuka.

3. Hasil dan pembahasan

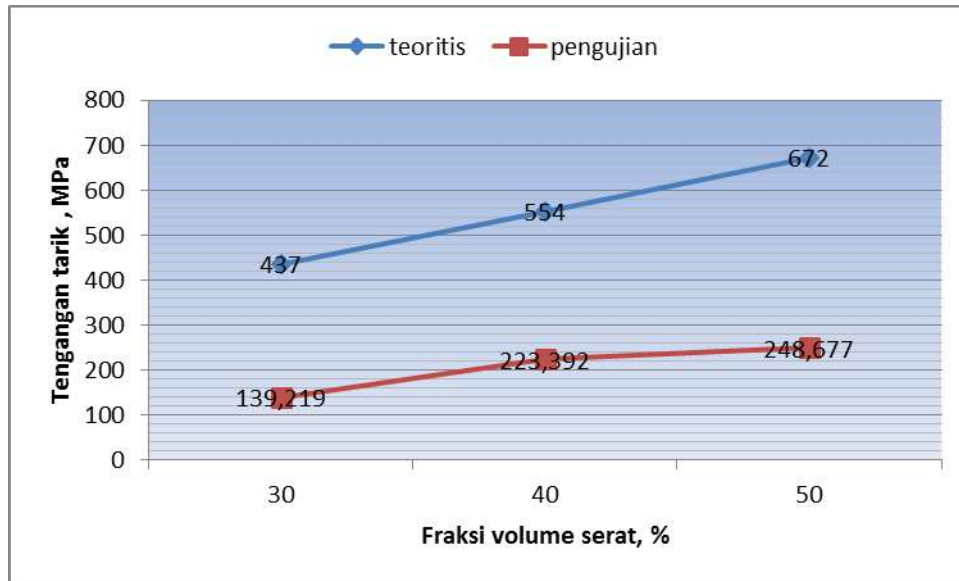
Hasil penelitian yang dilakukan terdiri dari dua macam komposisi yaitu penelitian dengan orientasi serat 0° mengikuti arah horizontal, dan orientasi sudut 90° mengikuti arah vertikal untuk hasil uji tarik unidirectional lamina.



Gambar 1. Tegangan tarik komposit unidirectional lamina dengan orientasi sudut 90°

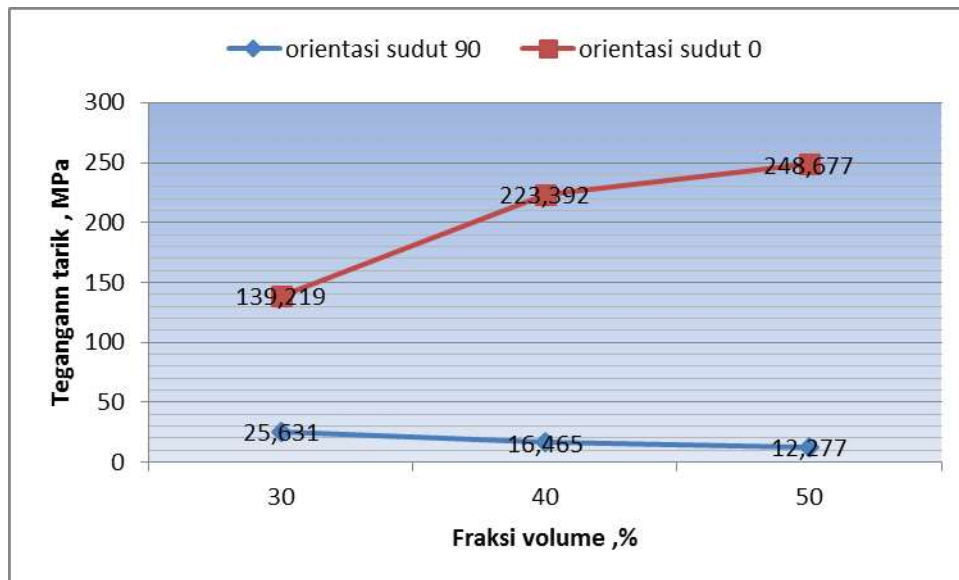
Gambar 1. Terlihat antara Tegangan hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengujian terdapat perbedaan yang cukup jauh terutama pada fraksi volume 50% ini disebabkan adanya void yang menyebabkan

kekuatannya rendah, juga karena daya penyerapan serat yang cukup tinggi sehingga untuk fraksi volume serat 50 % resinnya kurang sehingga ada bagian yang tidak terserap resin.



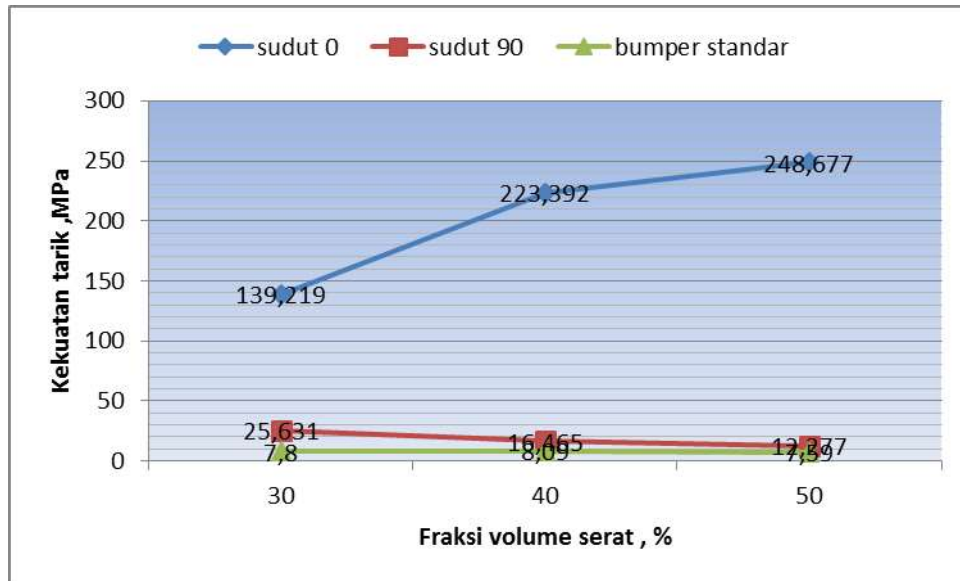
Gambar 2. Tegangan tarik komposit unidirectional lamina dengan orientasi sudut 0°

Gambar 2. Terlihat antara Tegangan hasil perhitungan teoritis dengan hasil pengujian terdapat perbedaan yang cukup jauh terutama pada fraksi volume 50% ini disebabkan adanya void yang menyebabkan kekuatannya rendah, juga karena daya penyerapan serat yang cukup tinggi sehingga untuk fraksi volume serat 50 % resinnya kurang sehingga ada bagian yang tidak terserap resin.



Gambar 3. Tegangan tarik komposit unidirectional lamina dengan orientasi sudut 0°, dan 90°

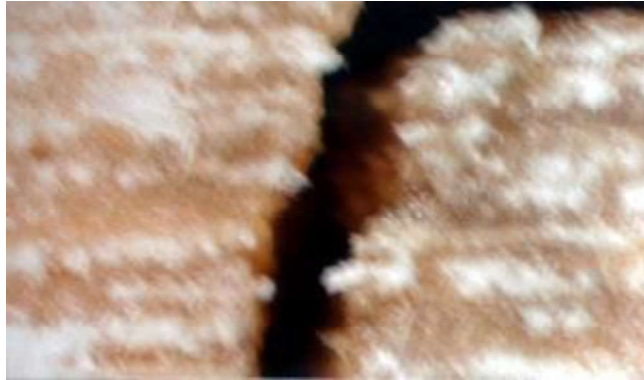
Gambar 3. Terlihat antara tegangan tarik lamina sudut 0° dengan tegangan tarik lamina sudut 90° terjadi perbedaan yang cukup besar ini disebabkan bahwa Tegangan yang terjadi pada lamina sudut 0° konsentrasi pembebanan terjadi searah serat sehingga menghasilkan kekuatan lebih besar, untuk lamina dengan orientasi sudut 90° konsentrasi pembebanan terjadi pada matriks sehingga tegangan yang terjadi lebih rendah dibandingkan sudut 0°. sehingga kekuatan tarik lamina arah transversal sangat rendah dibandingkan dengan kekuatan tarik arah longitudinal



Gambar 4. Tegangan tarik komposit unidirectional lamina dengan orientasi sudut 0°, dan 90°, dan bumper standar

Gambar 4. Terlihat antara tegangan tarik komposit serat rami epoxy dengan sudut 0° dengan tegangan tarik bumper standar terjadi perbedaan yang cukup jauh, sementara untuk sudut 90° dengan bumper standar perbedaannya tidak terlalu jauh, hal ini disebabkan dari material nya.

B. HASIL PENGUJIAN MAKRO MEKANIKA



Gambar 5. Foto Makromekanika Pembesaran 10 X



Gambar 6. Foto Makromekanika pembesaran 10 x

Gambar 5,6, terlihat modul kegagalan yang terjadi untuk pengujian tarik arah longitudinal searah serat sehingga retak yang terjadi tegak lurus terhadap arah pembebanan, dan dalam arah transversal pembebanan terjadi pada matriks sehingga matrik yang mengalami patah terlebih dahulu, ini disebabkan oleh adanya void pada saat proses manufaktur sehingga ikatan antara matrik dan serat tidak sempurna.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian tarik, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Perhitungan secara teoritis perlu dilakukan untuk memprediksi hasil pengujian tarik. Terdapat perbedaan yang cukup besar antara perhitungan teoritis dengan hasil pengujian kekuatan tarik serat rami dengan serat, terutama pada sudut 0°
- Kekuatan suatu material komposit ditentukan oleh sifat-sifat dan fraksi volume bahan pembentuknya, serta dipengaruhi oleh factor-faktor kesalahan pengerjaan.
- Sifat-sifat mekanik material sangat ditentukan oleh sifat bahan pembentuknya, orientasi sudut seratnya, dan fraksi volume seratnya.
- Antara kekuatan serat dan matriks terdapat perbedaan yang cukup jauh, sehingga hal ini akan menyebabkan terjadinya patah yang tidak bersamaan antara serat dengan matriks.
- Komposit serat rami epoxy layak dijadikan komponen otomotif jika di tinjau dari kekuatan tariknya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alcides L. Leao, "Application of Natural Fibers In Automotive Industry In Brazil Thermoforming Process", *Science and Technology of Polymers and Advanced*.
- [2] Alaya Fadllu Hadi Mukhammad, Bambang Setyoko," Studi Kekuatan Tarik Komposit Serat Rami Acak- Polyester Sebagai Bahan Helm Standar SNI", SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI 2015
- [3] Institut Teknologi Nasional Malang ISSN: 2407 – 7534.
- [4] ASTM,"Annual Book of ASTM Standards", Section 8: Plastic, Philadelphia USA, 2012.
- [5] Budi Saroso, "Rami, Penghasil Bahan Tekstil, Pulp dan Pakan Ternak", Balai Penelitian Tembakau dan Tanaman Serat, Malang, AgrUMY Vol. VIII, 2000
- [6] Gupta, A. Kumar, A. Patnaik, and S. Biswas, "Effect of different parameters on mechanical and erosion wear behavior of bamboo ber reinforced epoxy composites," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2011, Article ID 592906, 10 pages, 2011.
- [7] Hindum Amalia, Sutikno,2014" Pengaruh Komposit Epoxy HGM pada Bumper Depan Kendaraan untuk Mereduksi Energi Impact." *Jurnal Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)*.
- [8] Huntsman Polyurethanes, Everclaan 45, B-3078 Everberg, Belgium Ryszard Kozlowski (31) Poland, "Green fibres and Their Potential in Diversified Applications" *Proceedings of a seminar held by the food and agriculture organization of the UN (FAO) and the common fund for commodities (CFC)*,Rome, 13 December 2000.
- [9] Jyoti Prakash Dhall and S. C. Mishra2 ,"Processing and Properties of Natural Fiber-Reinforced Polymer Composite," *Hindawi Publishing Corporation Journal of Materials Volume 2013*, Article ID 297213, 6 pages, 2013.
- [10] Lastri Anita Gultom, Dirhamsyah, Dina Setyawati,2013 ", Sifat Fisik Mekanik Papan Partikel Jerami Padi Mechanical and physical properties of particle board rice straw. *Jurnal Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura*.
- [11] Pramuko Ilmu Purboputro, Agus Hariyanto," ANALISIS SIFAT TARIK DAN IMPAK KOMPOSIT SERAT RAMI DENGAN PERLAKUAN ALKALI DALAM WAKTU 2, 4, 6, DAN 8 JAM BERMATRIK POLIESTER", *Media Mesin: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Vol. 18 No. 2 Juli 2017: 64-75*.
- [12] Rahman, Junaidi. 2002. Pemanfaatan Limbah Gergajian Kayu Pinus Sebagai Bahan Dasar Pembuatan Papan Partikel Gip (Wood-Based Gypsum Board). Malang : Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang
- [13] SAE, "SAE Handbook 1995", Volume II, Society of Automotive Engineers Inc, Warrendal, PA, 1995.
- [14] S. Kalia, L. Avérous, J. Njuguna, A. Dufresne, and B. M. Cherian, "Natural fibers, bio- and nanocomposites," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2011, Article ID 735932, 2 pages, 2011

MANUFAKTUR DAN PROSES PRODUKSI

PENYEMPURNAAN *ROTARY DOLLY* DENGAN KONSEP *SEMI-AUTOMATION*

Isaac Noer Sebastian¹; Ismail Fazri Nugraha¹; Muhammad Arbiyan Nugraha¹; Robby Cahyadi¹;
Jauhari Ali²; Sunarto²

¹Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr.GA Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424
Telp : +6221 7270044 Fax : (021) 7270034
Email : sacnoer@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Front floor ialah salah satu part dari mobil yang memiliki fungsi sebagai dasar (lantai) bagian depan mobil. *Front floor* memiliki dimensi yang besar yaitu (140 x 110 cm) dari kursi pengemudi sampai kursi penumpang depan yang berbahan pelat baja. Pada proses *assembly*, *front floor* disusun berdasarkan urutan permintaan jenis kendaraan yang akan di *assembly line production*, namun *line production* meminta *front floor* disusun terbalik 180° dari posisi semula dikarenakan untuk memudahkan proses *assembly*. Untuk hal tersebut di dalam proses *sorting* (*minomi*) seorang member perlu membalik *front floor* secara manual yang memerlukan tenaga yang cukup besar. Dalam menanggulangi permasalahan tersebut dilakukanlah penyempurnaan pada *rotary dolly* yang sudah ada dengan konsep *semi-automation* untuk memudahkan member dalam membalik *front floor* 180°. Metodologi yang digunakan ialah mendesain *rotary dolly* dengan konsep *semi-automation* menggunakan motor listrik yang mampu membalik *front floor* 180°. Selanjutnya dilakukan perhitungan teknik meliputi penentuan daya motor, perhitungan momen pada titik kritis, kekuatan las, pemilihan bahan, dan perhitungan estimasi biaya pembuatan. Alat bantu tersebut didesain untuk spesifikasi *front floor* jenis mobil tipe sedan semi niaga. Hasil desain diperoleh penyempurnaan *rotary dolly semi-automation* dengan spesifikasi: panjang = 1650 mm, lebar = 1442 mm, tinggi = 1070 mm, derajat putar = 180°, sumber tenaga menggunakan motor listrik, rangka konstruksi menggunakan *square tube*, poros pejal, dan plat dengan estimasi biaya pembuatan Rp 50.000.000,.

Kata kunci: *Rotary Dolly*, *Front Floor*, *Minomi*.

Abstract

The *Front Floor* is one of the parts in the car that has base (floor) of the front the car. *Front Floor* has a large dimension is (140 x 110 cm) from driver seat to the front passenger seat which is made of iron. In the *assembly* process, the *front floor* is arranged by type according to the demand on the production line. However, the *line production* asks the *front floor* to be inverted 180° from its originally position because to make easier *assembly* process. For that in the *sorting* process (*minomi*) a member needs to reverse the *front floor* using a manual way that requires a lot of power. Based on the problem, to tackled problems that occur made improvements on existing *rotary dolly* with *semi-automation* concept to facilitate members in rotating the *front floor* 180°. The methodology used is designing *rotary dolly* using *semi-automation* concept where the tool uses electric motor capable of rotate *front floor* equal to 180°. Then performed engineering calculations include the determination of motor power, the calculation moments at the critical point, the strength of welding, material selection, and the made the estimated cost of manufacture. The aids designed to specification of the *front floor* car types. The results of planning obtained for the improvement of *rotary dolly* with the concept of *semi automation* are as follows : length = 1650 mm, width =1442 mm, height = 1070 mm, rotation degrees = 180°, power source using electric motor, construction framework using *square tube*, solid shaft, and plate with the estimated cost of manufacutre Rp. 50.000.000,.

Keywords: *Rotary Dolly*, *Front Floor*, *Minomi*.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini perkembangan teknologi sudah sangatlah maju. Berbagai alat dibuat dengan tujuan untuk memudahkan pekerjaan manusia. Perkembangan teknologi tersebut tentunya sangat berguna bagi perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur karena dapat memudahkan proses-proses yang membutuhkan ketepatan tingkat tinggi.

Proses manufaktur untuk pembuatan mobil dimulai dari proses desain sampai proses perakitan. Dalam proses perakitan mobil dibutuhkan proses *supply part* yang efektif dan efisien. Proses *supply part* tersebut diatur oleh bagian *Logistic*.

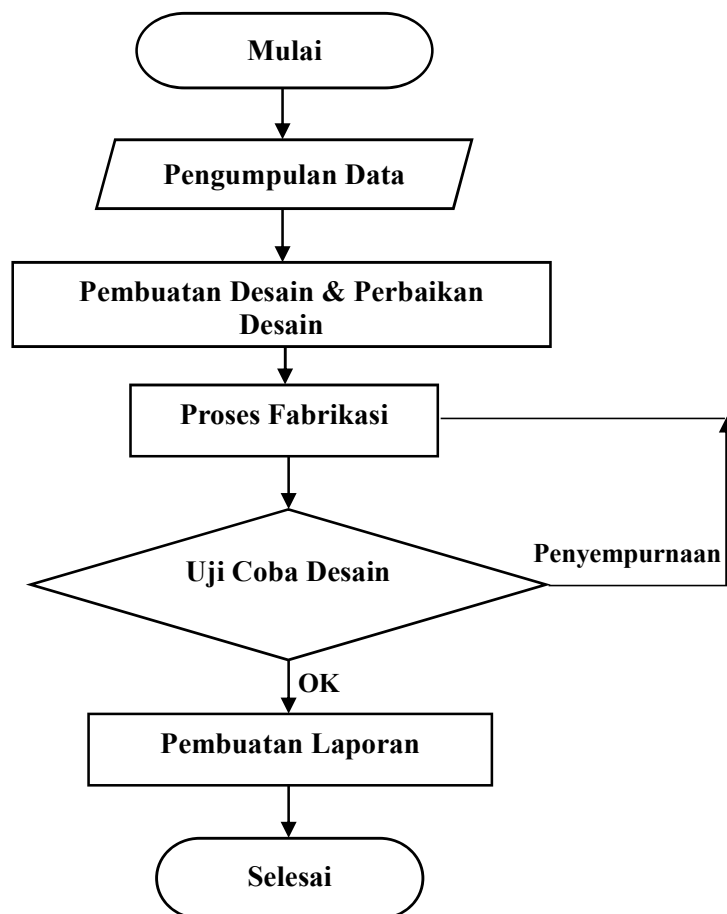
Dalam proses *supply part* terdapat banyak jenis *part* yang harus menggunakan *equipment* khusus. Pada era perkembangan teknologi saat ini, desain *equipment* untuk mensuplai *front floor* di perusahaan mobil dianggap kurang efisien, karena dalam proses pemutaran *front floor* 180° masih menggunakan tenaga operator. Dengan jumlah *front floor* 20pcs beban yang diterima operator saat memutar *front floor* adalah 80 [kg] hal tersebut tentunya membuat operator tidak nyaman. Ditambah lagi proses penguncian *front floor* yang dilakukan berulang-ulang semakin membuat alat tersebut kurang efisien. Untuk hal tersebut perlu adanya *redesign* guna meningkatkan efisiensi dari alat tersebut.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian untuk memperoleh *redesign Rotary Dolly* agar dapat meningkatkan efisiensi dalam proses *supply front floor* ke bagian *Welding Production* di perusahaan mobil.

2. METODE PELAKSANAAN

Metoda pelaksanaan desain mengikuti diagram alir pembuatan alat sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Pembuatan Alat

Keterangan:

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dan referensi bertujuan untuk mendapatkan informasi melalui berbagai media yang berhubungan dengan pembuatan dan perancangan alat. Pengumpulan data dilakukan di satu perusahaan mobil, berupa dimensi, bahan, dan cara kerja alat tersebut.

2. Pembuatan Desain dan Perbaikan Desain

Dalam proses pembuatan desain tentunya dibutuhkan alat untuk memvisualisasikan desain dengan bantuan *software* SolidWorks [1-2] yang menjadikan proses perbaikan atau revisi desain menjadi lebih mudah dilakukan. Selain membuat desain 3D dilakukan juga proses perhitungan untuk melengkapi data yang dibutuhkan pada saat proses fabrikasi, perhitungan tersebut yang meliputi:

- **Penentuan daya motor**

Pada konsep penyempurnaan *rotary dolly* dengan konsep semi *automation* dibutuhkan sebuah motor untuk dapat memutar *dolly* sebesar 180°, perhitungan daya motor dapat dihitung menggunakan persamaan [3]:

Menghitung torsi :

$$T = F \times R$$

$$T = (m_{\text{front floor \& dolly}} \cdot g) \times R$$

$$T = (80 \text{ [kg]} \cdot 9,81 \text{ [m/s}^2]) \times 0,484 \text{ [m]}$$

$$T = 379,843 \text{ [Nm]}$$

Menentukan torsi aktual yang dibutuhkan motor servo / motor listrik untuk memutar *Rotary Dolly* dengan efisiensi 80%

$$T_{\text{aktual}} = \frac{100}{80} \times T$$

$$T_{\text{aktual}} = \frac{100}{80} \times 379,843 \text{ [Nm]}$$

$$T_{\text{aktual}} = 474,804 \text{ [Nm]}$$

Menghitung daya motor :

$$P = \frac{T \cdot \omega \cdot 2\pi}{60000}$$

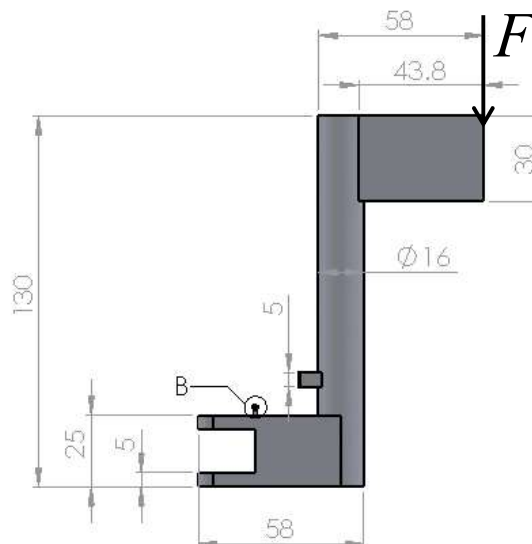
$$P = \frac{474,804 \text{ [Nm]} \cdot 6 \text{ [rpm]} \cdot 2\pi}{60 \cdot 1000}$$

$$P = 0,298 \text{ [kW]}$$

Berdasarkan perhitungan, daya yang dibutuhkan oleh motor listrik / motor servo untuk memutar *rotary dolly* yang terisi oleh 20 pcs *front floor* dengan berat 80 [kg] adalah 0,298 [kW]. Sesuai dengan tabel 2.2 Katalog Motor Listrik Motovario, maka motor servo / motor listrik yang dibuat oleh Motovario melalui PT. Y dengan daya 0,37 [kW] cocok untuk digunakan bahkan lebih aman.

- **Menghitung momen pada titik kritis**

Perhitungan momen pada titik kritis dapat dihitung menggunakan persamaan [4-5]:



Gambar 4.32 Pandangan Samping Pengunci (*Pokayoke*)

Diketahui:

Bahan yang digunakan adalah Baja ST 37 dengan bentuk *Assental Square Bars* dengan spesifikasi:

$$\sigma_{t \text{ ultimate}} = 3700 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\bar{\sigma}_t = 462,5 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

$$\sigma_b = 370 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Torsi yang bekerja pada *Rotary Dolly* sebesar 474,804 [Nm] dan jarak poros ke sumbu pusat adalah 283,50 [mm], maka gaya yang bekerja pada poros motor servo dapat dihitung:

$$T = F \times l$$

$$F = \frac{T}{l}$$

$$F = \frac{474,804 \text{ [Nm]}}{0,2835 \text{ [m]}} = 1674,7936 \text{ [N]} = 170,7 \text{ [kg]}$$

$$l_{\text{lengan pengunci atas}} = 50 \text{ [mm]} = 5 \text{ [cm]}$$

$$b = 30 \text{ [mm]} = 3 \text{ [cm]}$$

Menghitung panjang penampang yang dibutuhkan:

$$\sigma_b = \frac{M b}{W_b}$$

$$\sigma_b = \frac{F \cdot l_{\text{lengan pengunci atas}}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2}$$

$$h^2 = \frac{F \cdot l_{\text{lengan pengunci atas}}}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot \sigma_b}$$

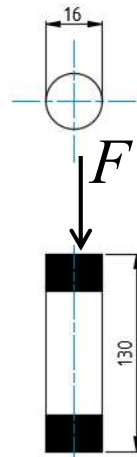
$$h^2 = \frac{170,7 \text{ [kg]} \cdot 5 \text{ [cm]}}{\frac{1}{6} \cdot 3 \text{ [cm]} \cdot 370 \text{ [kg/cm}^2\text{]}}$$

$$h = 2,147 \text{ [cm]} = 21,47 \text{ [mm]}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka panjang penampang yang dibutuhkan untuk lengan pengunci atas adalah 21,47 [mm]. Namun agar lebih aman desain lengan pengunci atas dibuat lebih besar penampangnya, dan disesuaikan dengan ukuran bahan yang ada di pasaran, maka panjang penampangnya menjadi 25 [mm] sehingga luas penampangnya menjadi 30 x 25 [mm], sesuai dengan Tabel 2.8 Katalog Baja ST 37 *Assental Square Bars* maka ukuran bahan yang dipilih adalah 31,75 x 31,75 [mm] agar dapat di *machining* terlebih dahulu.

Menghitung diameter poros pengunci (*pokayoke*). Poros mengalami tegangan tarik.

Free Body Diagram



Gambar 4.33 Free Body Diagram poros pengunci (*pokayoke*)

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_t &= \frac{F}{A} \\ \bar{\sigma}_t &= \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2} \\ d^2 &= \frac{F}{\frac{\pi}{4} \cdot \bar{\sigma}_t} \\ d^2 &= \frac{170,7 \text{ [kg]}}{\frac{\pi}{4} \cdot 462,5 \text{ [kg/cm}^2\text{]}} \\ d^2 &= 0,685 \text{ [cm]} = 6,85 \text{ [mm]}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka diameter minimal yang dibutuhkan untuk membuat poros pengunci (*pokayoke*) adalah 6,85 [mm]. Namun agar lebih aman desain poros pengunci (*pokayoke*) dibuat lebih besar diameternya, dan disesuaikan dengan ukuran bahan yang ada di pasaran, maka dipilih lah diameter 16 [mm], sesuai dengan Tabel. 2.8 Katalog Baja ST 37 Assental Round Bars maka ukuran bahan yang dipilih adalah 19,05 [mm] agar dapat di *machining* terlebih dahulu.

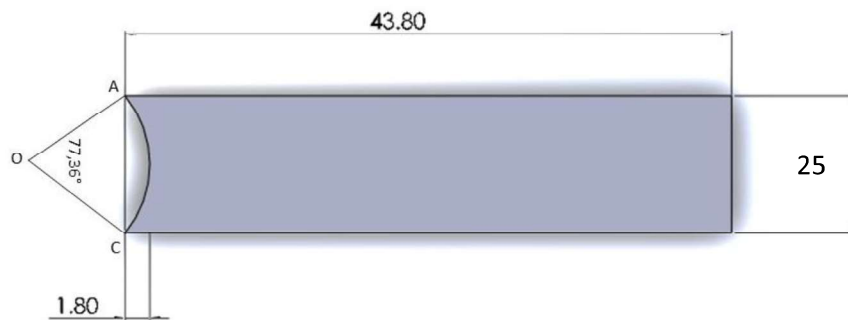
- **Menghitung Kekuatan Lasan**

Perhitungan Kekuatan las dapat dihitung menggunakan persamaan [3 & 5]:

Menghitung Momen

$$\begin{aligned}M_b &= F \times L \\ &= 170,7 \text{ [kg]} \times 50 \text{ [mm]} \\ &= 1674,567 \text{ [N]} \times 50 \text{ [mm]} \\ &= 83728,35 \text{ [Nmm]}\end{aligned}$$

Menghitung Panjang Busur



Gambar 4.35 Pandangan Atas Pengunci (*Pokayoke*)

$$\widehat{AB} = \frac{\angle AOC}{360^\circ} \times \text{Keliling}$$

$$\widehat{AB} = \frac{77,36^\circ}{360^\circ} \times \pi \times 16 \text{ [mm]}$$

$$\widehat{AB} = 0,215 \times \pi \times 16 \text{ [mm]}$$

$$\widehat{AB} = 10,087 \text{ [mm]}$$

Menghitung Tegangan Geser

$$\begin{aligned} \tau_{geser} &= \frac{2,83 \times Mb}{\pi \times t \times D^2} \\ \tau_{geser} &= \frac{2,83 \times 83728,35 \text{ [Nmm]}}{\pi \times 14 \text{ [mm]} \times (10,807 \text{ [mm]})^2} \\ \tau_{geser} &= \frac{2,83 \times 83728,35 \text{ [Nmm]}}{\pi \times 14 \text{ [mm]} \times 116,8 \text{ [mm}^2\text{]}} \\ \tau_{geser} &= \frac{236951,2305 \text{ [Nmm]}}{5136,747 \text{ [mm}^3\text{]}} \\ \tau_{geser} &= 46,128 \text{ [N/mm}^2\text{]} \end{aligned}$$

Menghitung Tegangan Tarik

$$\begin{aligned} \sigma_t &= \frac{5,66 \times Mb}{\pi \times t \times D^2} \\ \sigma_t &= \frac{5,66 \times 83728,35 \text{ [Nmm]}}{\pi \times 14 \text{ [mm]} \times (10,807 \text{ [mm]})^2} \\ \sigma_t &= \frac{473902,461 \text{ [Nmm]}}{\pi \times 14 \text{ [mm]} \times 116,8 \text{ [mm}^2\text{]}} \end{aligned}$$

$$\sigma_t = \frac{473902,461 [Nmm]}{5136,747 [mm^3]}$$

$$\sigma_t = 92.257 [N/mm^2]$$

Dari hasil perhitungan diatas, maka didapatkan hasil yaitu :

$$\tau_{geser\ max} = 46,128 [N/mm^2] = 470,21 [kg/cm^2]$$

$$\sigma_{t\ max} = 92.257 [N/mm^2] = 940,43 [kg/cm^2]$$

Sedangkan spesifikasi dari baja ST 37 adalah:

$$\bar{\tau}_g = 231,25 [kg/cm^2]$$

$$\bar{\sigma}_t = 462,5 [kg/cm^2]$$

Berdasarkan hasil tersebut maka dapat dikatakan bahwa kekuatan lasan melebihi kekuatan baja ST 37, sehingga aman untuk menahan beban.

3. Proses Fabrikasi

Proses Fabrikasi dimulai dari persiapan bahan baku dan proses pemotongan bahan. Adapun proses pemotongan bahan terbagi menjadi 4 bagian, yaitu proses dengan mesin gerinda, proses dengan mesin bor, proses dengan mesin bubut dan proses dengan mesin *milling*. Setelah keempat bagian proses tersebut telah selesai, dilakukan proses *assembly*, yaitu perakitan dan penggabungan semua *part*. Untuk pembuatan alat mulai dari *machining* hingga *assembly* dilaksanakan di *workshop* perusahaan mobil.

Biaya

Perkiraan biaya dalam pembuatan “*Rotary Dolly* dengan Konsep *Semi Automation*” adalah sebagai berikut:

1. Biaya Material

Tabel 4.7 Biaya Material

No	Nama Material	Dimensi	Unit (pcs)	Harga
1	<i>Square Tube</i>	50 x 50 [mm]	1	Rp. 221760
2	<i>Rectangular Tube</i>	40 x 20 [mm]	1	Rp. 113570
3	Besi Plate	T = 10 [mm]	1	Rp. 1631000
4	<i>Ass. Round Bars</i>	Ø16 [mm]	1	Rp. 87000
5	<i>Plate Strip</i>	T = 10, L = 10 [mm]	1	Rp. 315000
6	Besi Plate	T = 25 [mm]	1	Rp. 304000
7	<i>Rectangular Tube</i>	40 x 20 [mm]	1	Rp. 113570
8	Besi Pipa	Out Ø 70 - in Ø 60 [mm]	1	Rp. 423000
9	<i>Angular Contact Ball Bearing</i>	(Out Ø22, Bore 10 , Thickness 6) [mm]	1	Rp. 35000
10	<i>Spring (Pegas)</i>	Outside Ø 12 [mm], wire Ø 1,5 [mm]	2	Rp. 10000
11	Motor Induksi	0,37 kw, 3p, 380 Nm	1	Rp.15180000
Total Harga				Rp.18433900

2. Biaya Total

Tabel 4.8 Biaya Total

No.	Nama Biaya	Harga
1	Biaya Material	Rp.18.433.900
2	Biaya Fabrikasi	Rp. 4.922.467
Total Harga		Rp. 23.356.367

3. Uji Coba Desain

Proses uji coba desain bertujuan untuk melakukan pengecekan terhadap fungsi dan cara kerja dari *rotary dolly*. Alat tersebut digunakan untuk mengubah posisi *front floor* dengan memutar benda sampai 180° dan terkunci secara otomatis. Jika hasil uji coba sudah sesuai dengan fungsinya, maka alat tersebut dinyatakan berhasil. Apabila fungsinya tidak berjalan dengan baik, maka alat tersebut dinyatakan gagal dan dilakukan analisis untuk perbaikan alat yang meliputi proses desain dan penentuan spesifikasi bahan.

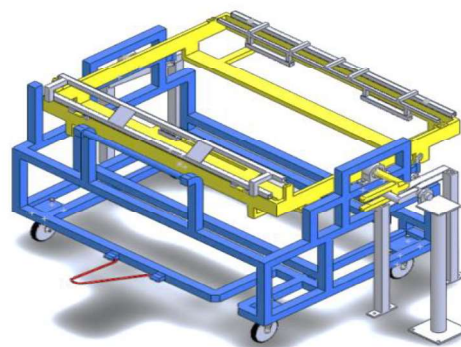
4. Pembuatan Laporan

Setelah Alat diuji dan berhasil, maka dilanjutkan dengan pembuatan laporan untuk mempertanggungjawabkan hasil dari alat yang telah dibuat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Redesign rotary dolly dengan menggunakan konsep *semi-automation* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rotary Dolly Semi-Automation

Cara kerja *rotary dolly semi-automation*:

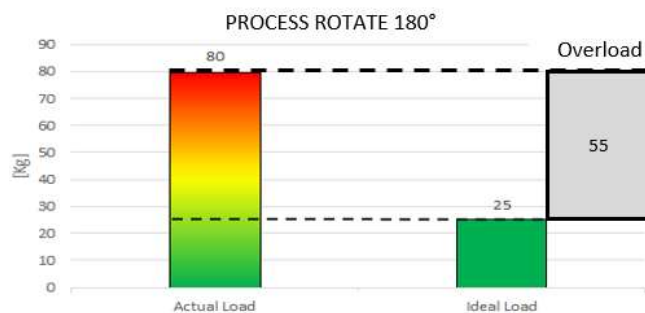
- Dolly* kuning (rangka atas) diisi oleh *part (front floor)* sebanyak 20 pcs. Proses tersebut dilakukan oleh operator,
- Setelah terisi 20 pcs *part (front floor)*, maka operator mengunci *dolly* kuning agar dapat menjepit 20 pcs *part (front floor)*,
- Selanjutnya operator hanya perlu menekan tombol untuk memutar motor listrik yang sudah dihubungkan dengan poros *dolly* kuning, sehingga proses pemutaran *dolly* kuning yang sudah terisi 20 pcs *part (front floor)* sebesar 180° lebih aman, dan

- d) Setelah itu *rotary dolly* ditarik oleh *towing* untuk dikirim ke *line production*. Pada saat proses tersebut dilakukan, sistem penguncian (*pokayoke*) secara otomatis mengunci *dolly* kuning agar tidak terbalik saat *rotary dolly* ditarik oleh *towing* ke *line production*.

3.2 Pembahasan

Problem yang akan ditanggulangi dengan konsep desain *rotary dolly semi-automation*:

1. Beban aktual yang diterima operator pada saat memutar *front floor* 180° mencapai 80 [kg] yang mana beban tersebut melebihi beban ideal yang harus diterima oleh operator yaitu 25 [kg]. Berdasarkan data tersebut terdapat *gap* yang cukup besar, yaitu 55 [kg] sebagaimana Gambar 3. Hal tersebut menyebabkan adanya *Muri* proses yaitu proses yang terjadi karena adanya beban berlebihan (*overload*).



Gambar 3. Analisis grafik terhadap beban yang diterima operator

Dengan menggunakan *rotary dolly semi-automation*, proses pemutaran *front floor* 180° tidak lagi di-handle oleh operator, melainkan menggunakan tenaga dari motor listrik, sehingga problem di atas dapat ditanggulangi.

2. Terlalu banyak aktivitas penguncian yang dilakukan oleh operator. Hal tersebut menyebabkan adanya *Muda* proses yaitu proses yang dilakukan secara berulang, sehingga mengakibatkan waktu terbuang (*wasting time*). Waktu yang dibutuhkan dalam proses penguncian sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1 - Waktu yang dibutuhkan dalam proses penguncian

Seq.	Process Rotate & Locking	Time (second)	Time (second) / Shift
1	Unlock rotary dolly	3	48
2	Rotate dolly 180°	5	80
3	Lock rotary dolly	3	48
Total time for lock & unlock dolly			96

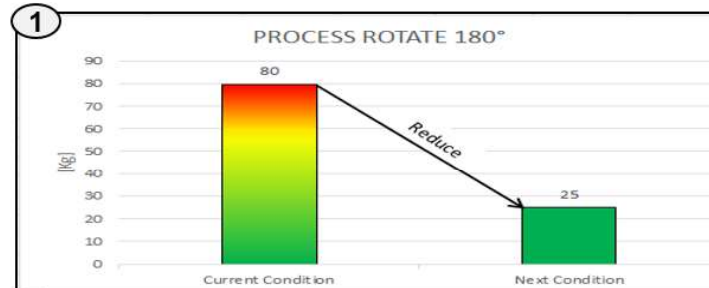
* 1 shift = 16 times

Dengan menggunakan *rotary dolly semi-automation* proses penguncian *dolly* kuning (rangka atas) menjadi otomatis, karena sistem pengunciannya didesain dengan menggunakan pegas yang dapat membuka dan menutup secara otomatis saat bagian *roller* pengunci tersebut menyentuh rel yang dipasang di sisi kanan dan kiri *rotary dolly* tersebut. Sistem penguncian tersebut menggunakan konsep *pokayoke*. Dari konsep design tersebut tentunya problem di atas dapat ditanggulangi.

Target:

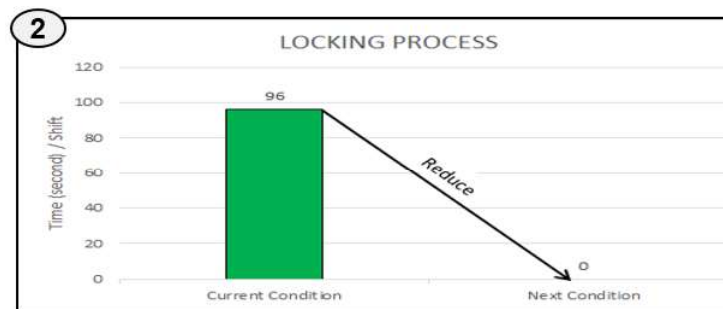
Beberapa target yang ingin dicapai setelah *redesign* terhadap *rotary dolly*, antara lain:

1. Melakukan pengurangan (*reduce*) atau bahkan meniadakan beban yang harus diterima oleh operator saat melakukan proses pemutaran *front floor* 180°. Grafik target pengurangan beban berlebih sebagaimana Gambar 4.



Gambar 4. Grafik target pengurangan (*reduce*) beban yang berlebih

2. Meniadakan proses penguncian yang dilakukan operator secara berulang yang menyebabkan *Muda* proses (*wasting time*). Grafik yang menunjukkan adanya peniadaan dalam proses penguncian *rotary dolly* sebagaimana Gambar 5.



Gambar 5. Grafik menunjukkan harus adanya peniadaan dalam proses penguncian *Rotary Dolly*

4. KESIMPULAN

Penyempurnaan *rotary dolly* dengan menggunakan konsep *semi automation* menghasilkan beberapa keuntungan dalam proses supply *front floor* ke bagian *Welding Production* di perusahaan mobil:

1. Menghilangkan Muri proses atau beban berlebih terhadap operator pada saat pemutaran *rotary dolly* 180°, dan
2. Menghilangkan *Muda* proses (*wasting time*) pada saat proses penguncian *rotary dolly* yang sebelumnya membutuhkan waktu 96 detik setiap *shift*-nya.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, ST, MT Ketua Jurusan Teknik Mesin, Ibu Candra Damis Widiawaty, S.TP., M.T. Ketua Program Studi Teknik Mesin.
2. Bapak Yani K. Dept. Head LOD, Ibu Yolanda Saphira, Sect. Head Log. Weld, dan Engineering Service Staffs serta seluruh pegawai PT. TMMIN yang telah berbagi ilmu dan pengalamannya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat, Nur, *SolidWorks 3D Drafting and Design*, Jakarta: Informatika, 2014.
- [2] Juhana, Ohan; Suratman, *Menggambar Teknik Mesin dengan Standar ISO*, Jakarta: Pustaka Setia, 2012.
- [3] Pramono, A.E, "Buku Ajar Elemen Mesin I", Depok, 2017.
- [4] Sularso. *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta, PT. Pradnya Paramita. 2008.
- [5] Khurmi, R. S, and J. K. Gupta, *A Text Book of Machine Design*, Ram Nagar, New Delhi, India Eurasia Publishing House, 1988.

STUDI KASUS PENYEBAB PATAHNYA *BLADE* PADA MESIN *REWEAVING* OMNI PLUS TC 800 DI PT.XX

Brenda Ariyuda Wibawa¹, Muhammad Zakinura²
Program Studi D3 Teknik Mesin¹, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok 16425
Telp : 0217863530 Fax : 0217863530
ariyudabrendaw@gmail.com
Dosen Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Mesin²

Abstrak

Reweaving adalah suatu proses penganyaman ulang yang bertujuan memperbaiki/menghancurkan *defect* pada *greige fabric*, sehingga *greige fabric* dapat diizinkan lolos untuk dikirim ke *customer*; *Blade* pada mesin *Reweaving* berfungsi sebagai alat pengurai *fabric* menjadi kumpulan benang, sehingga benang *filling* dapat lepas dan mengubah lembaran kain menjadi kumpulan benang.

Penelitian tersebut didasari karena sering terjadi suatu kegagalan pada Mesin *Reweaving* yang mengakibatkan: *Shaft blade* patah, *Blade* merupakan sebuah komponen kritis pada mesin *Reweaving*. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan metode *fishbone*, menggunakan data-data yang diambil dari lima besar permasalahan (*top 5 problems*) dari data kegagalan mesin tahun 2016-2018 diantaranya *blade* patah (28,57%), *Pawl* patah (14,28%), *take up frame* patah (21,42%), *rubber roll* rusak (21,42%), dan *harness frame* rusak (14,28%).

Dari metode *fishbone* tersebut, ditemukan abnormal pada *blade* mesin *Reweaving* adalah *misalignment*, terjadi pada *flange* yang menghubungkan antara kopling dan *shaft blade*. Hasil penelitian berupa patahnya *blade* mesin *reweaving* Omni Plus TC800 diselesaikan dengan dilakukan perbaikan berupa pengelasan atau penggantian, lalu melakukan modifikasi dengan cara mendesain ulang rancangan *blade* sebagaimana Gambar 4.

Kata kunci: Mesin Re-Weaving, *Blade*, *misalignment*,

Abstract

Re-weaving is a process to repair /disappear the *greige fabric* defects, so the *greige fabric* have a pass to sending to the customer, *blade* on the re-weaving machine have a purpose as a *fabric permer* back to be a yarn, so the *filling yarn* can loose and change the *fabric* back to the yarn.

This study is based because often occur the failure in the re-weaving machine, this study use by *fishbone* method, got from top 5 problem of failure machines dates on 2016-2018, among others broken *blade* (28,57%), broken *pawl* (14,28%), broken *take up frame* (21,42%), broken *rubber roll* (21,42%), and broken *harness frame* (14,28%).

From this *fishbone* method, found the abnormal on the re-weaving machine *blade* is *misalignment*, that occurs in the *flange*, who connect the coupling and the *shaft blade*, the result of this study about the broken of re-weaving machine *omni plus TC800 blade* be solved by repairing with welding/changing and then modiflicated by re-design the *blade* as it is image 4.

Keywords: *Reweaving machine*, *Blade*, *misalignment*.

1. PENDAHULUAN

PT. XX adalah perusahaan yang bergerak pada bidang produksi kain penguat ban. Kain ban atau kain penguat ban adalah komponen utama pada ban digunakan untuk memperkuat konstruksi ban, dan menjamin ketahanan dan keselamatannya. Proses pembuatan kain penguat ban secara garis besar terdiri dari 4 proses. *Yarn production*, *Twisting*, *Weaving*, serta *Dipping*. Produk yang dihasilkan dari proses pembuatan kain ban disebut *greige fabric* dan *dip fabric*, *greige fabric* adalah kain ban yang belum melalui proses *dipping* (pelapisan latex) sedangkan *dip fabric* adalah kain ban yang siap dikirim ke *customer*, namun tidak semua *greige fabric* yang dihasilkan memiliki mutu yang sesuai standar, terkadang ada *greige fabric* yang mengalami *defect/cacat*. *Greige fabric* yang *defect* tidak diizinkan lolos untuk dikirim ke *customer*, untuk itu dilakukan proses *rework* yang dinamakan *Reweaving*.

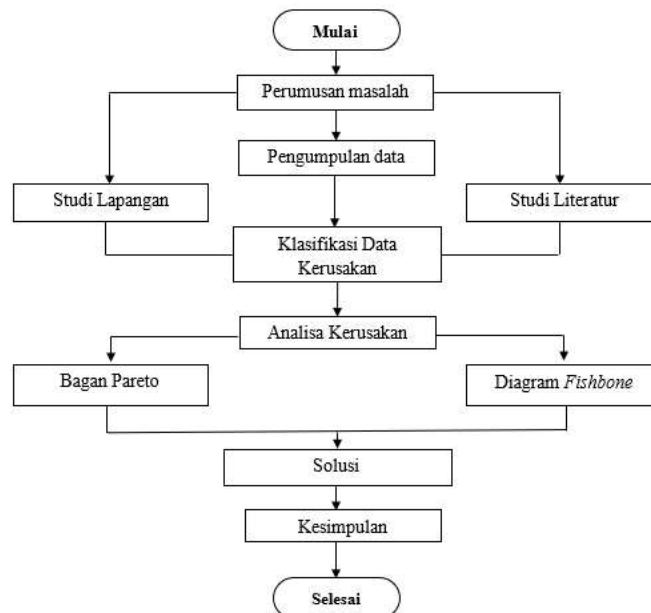
Dalam menjalankan aktivitas produksinya PT. XX tentu tidak lepas dari masalah. Salah satu masalah yang dihadapi adalah terjadinya kerusakan pada mesin *Reweaving* yang mana *shaft blade* patah pada saat pemilahan, dengan frekuensi terjadi sebesar (28,57%) diambil dari data riwayat perbaikan mesin *Reweaving* tahun 2016-2018., dari jumlah frekuensi tersebut, maka disimpulkan kerusakan disebabkan karena *design errors* [3]. Hal tersebut menyebabkan proses produksi terganggu dan berdampak pada penurunan kapasitas produksi yang semula dapat menghasilkan 116 Ton per-harinya menjadi berkurang sebesar 16 Ton menjadi 100 Ton per-harinya. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dibuatlah studi kasus mengenai kerusakan mesin *Reweaving* tersebut.

Didasarkan pada latar belakang, dilakukan studi kasus untuk membahas penyebab patahnya *shaft blade* mesin *reweaving* dan menemukan solusi untuk mencegah terjadinya kerusakan yang sama. tujuan penelitian untuk:

1. Menentukan penyebab patahnya blade pada Mesin Re-weaving OMNI TC-800 di PT. X.
2. Menentukan cara mengatasi patahnya blade pada Mesin Re-weaving OMNI TC-800 di PT. X.
3. Melakukan modifikasi pada *blade* Mesin Re-weaving OMNI TC-800 di PT. X..

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perumusan Masalah

Masalah yang dihadapi adalah terjadinya kerusakan pada mesin *Re-weaving* dimana *shaft blade* patah pada saat pemilahan, dengan frekuensi terjadi sebesar (28,57%) diambil dari data riwayat perbaikan mesin *Re-weaving* tahun 2016 – 2018, dari jumlah frekuensi tersebut, maka disimpulkan kerusakan disebabkan karena *design errors* [3]. Hal ini menyebabkan proses produksi terganggu dan berdampak pada penurunan kapasitas produksi yang semula dapat menghasilkan 116 Ton per-harinya menjadi berkurang sebesar 16 Ton menjadi 100 Ton per-harinya.

3.2 Pengumpulan Data

Studi literatur yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa buku-buku, jurnal penelitian dan sumber referensi terkait yang menjadi landasan atau kerangka pemikiran. Studi lapangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah observasi awal dalam menentukan rumusan masalah yang terjadi serta hambatan permasalahan yang terjadi di perusahaan. Data yang didapat dari observasi lapangan adalah berupa riwayat kerusakan mesin, hasil pengamatan saat mesin diperbaiki dan data-data yang didapat dari tanya-jawab operator mesin dan teknisi *maintenance*.

3.3 Klasifikasi Data Kerusakan

Tahap klasifikasi data kerusakan bertujuan untuk mengelompokkan jenis kerusakan mesin *Re-weaving* yang didapat berdasarkan riwayat kerusakan mesin untuk menentukan penyebab utama patahnya *blade* pada mesin *Re-weaving* OMNI PLUS TC800.

3.3.1 Data Hasil Penelitian

Tabel 3.1 Daftar Riwayat Kerusakan Mesin *re-weaving* 2016-2018

No.	Tanggal	Jenis Kerusakan	Penanggulangan
1	6/6/2016	baut flange shaft blade patah	Mengganti baut flange shaft blade
2	23/12/2016	Guide roll Take-up bawah (yg lama melengkung)	Mengganti Guide roll Take-up bawah dengan yang baru
3	27/12/2016	Rubber band take up (Rusak karena Salah pengoperasian)	Bongkar rubber band take-up , memasang rubber band take-up menggunakan ASB kolthop
4	20/1/2017	Screw take up bengkok	Mengganti Screw Take up
5	29/3/2017	Harness frame patah	Mengganti Harness frame dengan yang baru
6	26/4/2017	baut take up patah	Mengganti baut take up dan memasang sufot penahan baut take up yg sereing patah
7	21/6/2017	Shaft blade baling-baling patah	Melepas blade untuk dilakukan Pengelasan
8	22/6/2017	rubber roll wind up bagian belakang Rusak	Mengganti rubber roll wind up bagian belakang dengan yang baru
9	23/6/2017	Shaft blade baling-baling kembali patah di bagian las-an	Melepas blade untuk di gantikan dengan blade yang baru
10	5/12/2017	pawl bagian LH patah	Mengganti Pawl bagian LH dengan yang baru
11	12/12/2017	Baut Pawl kendur	Mengencangkan baut Pawl
12	19/1/2018	rubber roll guide roll depan draw in rusak (aus)	Mengganti rubber roll guide roll depan draw in 13 meter
13	15/3/2018	harness frame cacat 2 pcs	Mengganti harness frame dengan yang baru
14	27/3/2018	Shaft Blade baling-baling kembali patah	Melepas blade kemudian dilakukan pengelasan di bagian yang patah

Tabel 3.2 Jenis Kerusakan yang sering terjadi

No.	Jenis Kerusakan	Frekuensi Kerusakan	Persentase
1	<i>Shaft blade patah</i>	4	28,57%
2	<i>pawl</i>	2	14,28%
3	<i>Take up frame</i>	3	21,42%
4	<i>Rubber roll</i>	3	21,42%
5	<i>Harness frame</i>	2	14,28%
Total Kerusakan		14	100 %

Dari data Tabel 3.2 tentang pengelompokkan jenis kerusakan yang sering terjadi, didapatkan bahwa kerusakan yang paling sering terjadi pada Mesin Re-weaving OMNI PLUS TC800 Periode 2016-2018 adalah masalah pada *shaft blade* dengan frekuensi kerusakan 4 dan persentase kerusakannya adalah 28,57%. Hal ini membuat kerusakan yang paling dominan adalah masalah pada *shaft blade*.

Tabel 3.3 Jenis Kerusakan pada *blade*

No.	Jenis Kerusakan pada Kawat	Jumlah Kerusakan	Persentase
1	<i>Shaft blade patah</i>	3	75%
3	<i>Baut flange Shaft blade patah</i>	1	25%
Total Kerusakan		4	100%

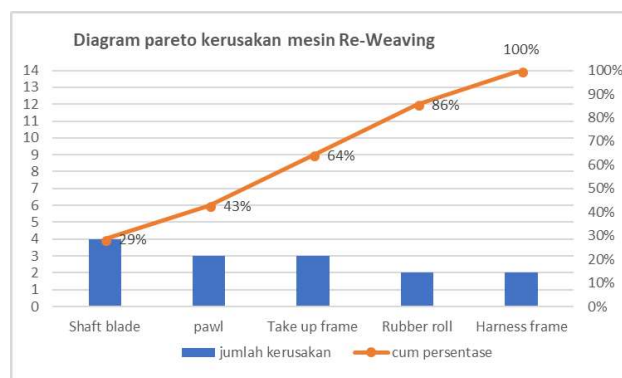
Dari tabel 3.3 tentang jenis kerusakan pada *shaft blade* didapatkan bahwa kerusakan pada *shaft blade* adalah patahnya *shaft* dengan jumlah kerusakan 3 dan persentase 75 %

3.4 Analisis Kerusakan

Menentukan penyebab utama kerusakan dengan menggunakan bagan pareto dan diagram *fishbone* [2]

3.4.1 Data Hasil Pengukuran

Diagram Pareto jenis kerusakan mesin *Reweaving* sebagaimana Gambar 2.

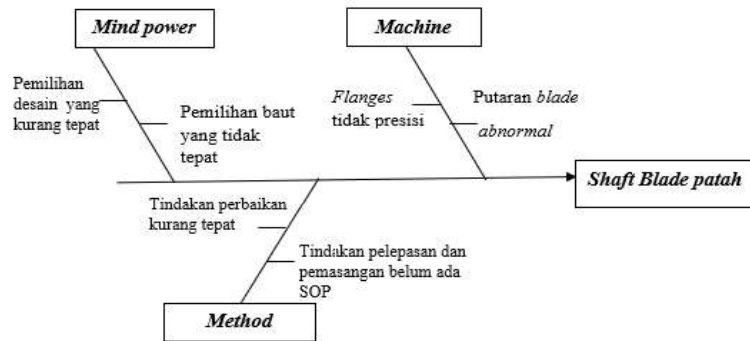


Gambar 2. Diagram Pareto Jenis Kerusakan Mesin *Reweaving*

Dari data diagram pareto diatas, didapat klasifikasi jenis kerusakan yang paling sering terjadi pada mesin *Re-Weaving* adalah *shaft blade*. Frekuensi *shaft blade* terjadi sebanyak 4 kali selama periode 2016 sampai 2018 dengan persentasenya sebanyak 28,57% atau 29% untuk seluruh kerusakan.

3.4.2 Analisis Kerusakan

Dari data diagram pareto, didapat jenis kerusakan mesin yang sering terjadi adalah pada *blade* dan kerusakan yang paling dominan adalah patahnya *shaft blade*, sehingga perlu analisis kerusakan menggunakan metode diagram sebab-akibat (*fish bone*) untuk mengetahui penyebab dari patahnya *shaft blade* pada mesin *Reweaving* dan mencari akar dari masalahnya [1] sebagaimana Gambar 3.



Gambar 3. Fishbone method

Keterangan:

1. Mind power

- Pemilihan desain *blade* kurang tepat

Pada desain *shaft blade* terdapat *flanges* sebagai penghubung antara *central blade* dengan *bearing* dan kopling, didesain menggunakan *flanges* adalah agar proses perawatan *shaft blade*, *bearing* dan kopling saat pelepasan/pemasangan menjadi lebih cepat, namun pemilihan *flanges* pada *blade* yang merupakan *rotary part* malah menimbulkan *misalignment* yang menyebabkan putaran *blade* menjadi abnormal yang berakibat patahnya *shaft blade*, karena pemilihan desain yang kurang tepat.

- Pemilihan baut yang kurang cocok

Pada *flanges* terdapat baut pengikat antara *flanges*, baut pada *flanges* berperan penting terhadap kekuatan *flanges*, baut yang kurang tepat dapat berakibat membuat baut tersebut mudah kendur, sehingga berakibat pada patahnya baut dan juga dapat menyebabkan *misalignment* pada *blade* dan berakibat patahnya *shaft blade*, karena pemilihan desain yang kurang tepat.

2. *Methods*

- Tindakan pelepasan dan pemasangan yang belum ada *SOP (standard operating procedure)*
Tidak adanya *SOP* pada pemasangan/pelepasan *blade*, menyebabkan tindakan tersebut dilakukan tanpa ada panduan resmi, seperti tidak adanya pengecekan kesejajaran sebelum dan sesudah proses tersebut, karena dalam *blade* terdapat *flanges* yang harus presisi, akibat ketidakpresisian *flanges*, dapat menimbulkan *misalignment*, yang menyebabkan putaran *blade* menjadi abnormal, dan berakibat patahnya *shaft blade* ,karena pemilihan desain yang kurang tepat.
- Tindakan perbaikan yang kurang tepat
Faktor perbaikan pula yang menambah kerusakan pada *blade*, perbaikan yang kurang tepat membuat masalah yang harusnya terselesaikan malah menjadi terulang kembali, seperti perbaikan berupa pengelasan *shaft blade* yang patah yang dapat memeperburuk *misalignment* pada *blade*, karena pemilihan desain *blade* yang kurang tepat.

4. *Machine*

- *Flanges* tidak presisi
Ketidakpresisian *flanges*, menyebabkan *misalignment* antar *flanges* yang berakibat pada gerak putaran *blade* menjadi abnormal yang berakibat patahnya *shaft blade*, karena pemilihan desain yang kurang tepat.
- Putaran abnormal pada *blade*
Berdasarkan pengamatan visual, ditemukan gerak putaran *blade* yang abnormal, faktor keabnormalan tersebut disebabkan oleh *misalignment*, yang menyebabkan terjadinya vibrasi berlebih, sehingga menyebabkan patahnya *shaft blade*, karena pemilihan desain *blade* yang kurang tepat.
Setelah dilakukan analisis penyebab dengan diagram sebab-akibat (*fish bone*) dan berdasarkan pengamatan di lapangan, maka didapat penyebab dominan yang menyebabkan patahnya *blade* pada saat proses pemesinan, yaitu:

- 1) Pemilihan desain *blade* yang kurang tepat,
- 2) Tindakan pelepasan dan perbaikan yang belum ada *SOP*
- 3) *Flanges* tidak sejajar.

3.5 Solusi

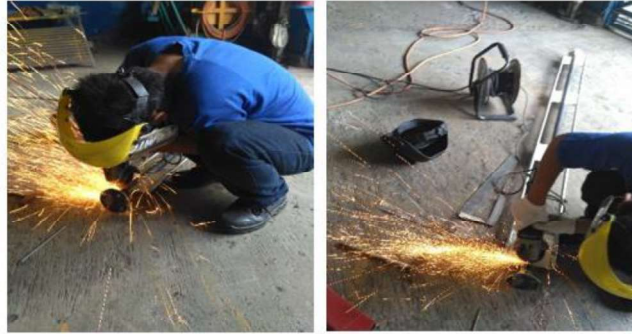
Solusi dari masalah tersebut adalah dengan mendesain ulang *blade*, dengan menghilangkan sambungan berupa *flanges*, menjadi *shaft* utuh tanpa sambungan, dari ujung *bearing* sebelah kiri hingga bagian motor sebelah kanan, guna mengurangi/menghilangkan *misalignment* yang disebabkan karena adanya *flanges*.

Dari penyebab dominan, diketahui semua penyebab tersebut saling berhubungan dan dapat disimpulkan bahwa patahnya *blade* mesin *reweaving Omni Plus TC800* tersebut disebabkan oleh *misalignment* akibat dari pemilihan desain *blade* yang kurang tepat dengan menggunakan *flanges* dan karena tidak adanya *SOP* saat pelepasan/pemasangan menyebabkan *flanges* menjadi tidak sejajar dan berakibat pada putaran *blade* menjadi abnormal hingga menyebabkan patahnya *shaft blade*.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik diantaranya:

Patahnya *blade* mesin *reweaving Omni Plus TC800* disebabkan oleh *misalignment* dari *flanges* diselesaikan dengan dilakukan perbaikan berupa pengelasan sebagaimana gambar 4., lalu modifikasi, dengan cara mendesain ulang rancangan *blade* sebagaimana Gambar 5.



Gambar 4. Pengelasan *blade*



Gambar 5. Modifikasi desain *blade*

Modifikasi desain pada *blade* yaitu dengan menghilangkan sambungan berupa *flanges* yang merupakan sumber masalah dari patahnya *blade*, menjadi *shaft* utuh tanpa sambungan, dari ujung *bearing* sebelah kiri hingga bagian motor sebelah kanan ,guna mengurangi/menghilangkan *misalignment* yang disebabkan karena adanya *flanges* yang menyebabkan putaran *abnormal* penyebab patahnya *shaft blade*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Purba, H.H., Diagram fishbone dari Ishikawa 2008.
- [2] Indonesia *productivity and quality institute*. “Tujuh alat pengendali kualitas” 25 Juni 2018. <https://ipqi.org/qc-seven-tools-tujuh-alat-pengendalian-kualitas/>
- [3] Sachs, Neville, *Practical Plant Failure Analysis*, CRC Press; AFA modul Trakindo 2007.

OTOMATISASI SISTEM PENGISIAN AIR PADA TANGKI WATER INJECTION 562-IJ1 UNTUK CEMENT MILL

M. Choirun Nasirin¹; Sonki Prasetya¹; Delta Gautama²

¹Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp: (62-21) 7863530,
Fax: (62-21) 7863530, mcnasirin.holcim@gmail.com

²PT. Holcim Indonesia Tbk

Abstrak

Dalam proses pembuatan semen salah satu alat yang harus dijaga kestabilan operasinya adalah vertical roller mill. Fungsinya adalah sebagai alat penghancur material klinker dan additive lainnya dengan menggunakan 3 buah roller mill yang berada diatas rotary table yang berputar searah jarum jam. Pada sistem operasinya terdapat water injection yang menyemprotkan air dengan debit 2-5 m³/jam yang berfungsi untuk menyetabilkan material yang berada pada rotary table dan akan dihancurkan oleh roller mill (grinding bed). Vertical roller mill sering kali berhenti dikarenakan vibrasi. Salah satu penyebab vibrasi adalah kegagalan operasi pada water injection sehingga kebutuhan air untuk vertical roller mill tidak tercukupi. Hal ini dikarenakan persediaan air di dalam tangki habis/kosong yang berakibat pada ketidakstabilan grinding bed material di rotary table serta overheating vertical roller mill karena klinker yang terlalu panas. Efeknya adalah vibrasi yang tinggi dan dapat membuat vertical roller mill berhenti bekerja. Penyebab kekosongan tangki penyimpanan air umumnya terjadi pada saat proses pengisian air ke tangki yang masih menggunakan manual valve, sehingga terdapat resiko kelalaian bagi patroller produksi dalam menjaga level air didalam tangki secara periodik.

Tujuan dari penulisan karya ilmiah ini adalah mendesain dan menerapkan otomatisasi sistem pengisian air pada tangki water injection. Dengan cara memasang sensor level dan control valve, alat tersebut berfungsi sebagai pembatas posisi atas dan bawah sebagai indikator bagi control valve saat memberikan keputusan untuk membuka maupun menutup valve.

Hasil dari otomatisasi sistem pengisian air pada tangki adalah menjaga ketersediaan air pada tangki water injection sehingga dapat mengurangi frekuensi vertical roller mill stop dan mengefisiensikan penggunaan air.

Kata kunci : Otomatisasi, Vertical Roller Mill, Grinding Bed, Water Injection, Valve

Abstract

In the process of making cement one of the tools that must be maintained its operational stability is vertical roller mill. Its function is as a tool crusher clinker material and other additives by using 3 pieces of roller mill that is above the rotary table rotating clockwise. In the operating system there is a water injection that spray water with a discharge of 2-5 m³ / hour that serves to stabilize the material located on the rotary table and will be destroyed by a roller mill (grinding bed). Vertical Roller Mill often stops due to vibration. One of the causes of vibration is failure of operation on water injection so that water requirement for vertical roller mill is not sufficient. This is because the water supply in the tank is exhausted resulting in the unstable of grinding bed material in the rotary table and overheating of the vertical roller mill due to overheating clinkers. The effect is high vibration and can make vertical roller mill stop working. The cause of the vacuum of the storage tank generally occurs during the process of filling the water into the tank that still uses the manual valve, so there is a risk of negligence for the production patroller in maintaining the water level in the tank periodically.

The purpose of this paper is to design and apply the automation of water filling system in the water injection tank. By installing a level sensor and a control valve, it acts as an upper and lower position limiting as an indicator for the control valve when making a decision to open or close the valve.

The result of water tank system automation is to maintain water availability in the water injection tank so as to reduce the vertical frequency of the roller mill stop and to make efficient use of water.

Keywords: Automation, Vertical Roller Mill, Grinding Bed, Water Injection, Valve

1. PENDAHULUAN

Vertical Roller Mill (VRM) merupakan salah satu *equipment* penting yang digunakan oleh PT. Holcim Indonesia Tuban Plant untuk kegiatan *grinding* material. *Vertical roller mill* berfungsi sebagai penghancur material klinker dengan *additive* lainnya sehingga tercapai *blaine* yang diinginkan. Pada Gambar. 1 merupakan *water injection* yang terdapat pada sistem operasi *vertical roller mill*, prinsip kerjanya adalah menyemprotkan sejumlah air ke dalam VRM yang berfungsi untuk menyetabilkan *grinding bed* dengan cara menyemprotkan air dengan debit tertentu sesuai kebutuhan dari setiap jenis semen yang dibuat sehingga tidak berpengaruh terhadap *heat balance* [1].

Water injection atau *Grinding bed sprinkler* adalah *equipment* tambahan yang dapat mempengaruhi ketinggian *grinding bed*. Dalam proses di *vertical roller mill*, *water injection* menjadi sangat penting karena dapat menyetabilkan *grinding bed* secara signifikan dan membuat operasi menjadi lancar dan halus. Sebelum air didistribusikan ke dalam *vertical roller mill*, air terlebih dahulu ditampung di dalam tangki. Terdapat 3 *grinding bed sprinkler* yang dipasang diantara *support roller* dan *master roller* dan karena jumlah air yang disemprotkan tidak terlalu banyak maka tidak akan banyak berefek pada proses *drying* didalam *vertical roller mill* [1].

Dalam operasinya *vertical roller mill* sering kali berhenti dikarenakan vibrasi. Salah satu penyebab vibrasi pada *vertical roller mill* adalah kegagalan operasi pada *water injection*. Sehingga kebutuhan air untuk *vertical roller mill* tidak tercukupi dikarenakan persediaan air di dalam tangki habis. Akibatnya terjadi fluktuasi kandungan air pada *feed Vertical Roller Mill* sehingga *grinding bed* material di *rotary table* menipis dan juga *vertical roller mill* *overheating* karena klinker yang terlalu panas. Efeknya adalah vibrasi yang tinggi dan dapat membuat *vertical roller mill* berhenti bekerja [2].

Penyebab kekosongan tangki penyimpanan air umumnya terjadi pada saat proses pengisian air ke tangki yang masih menggunakan *manual valve*, sehingga terdapat resiko kelalaian bagi *patroller* produksi dalam menjaga level air didalam tangki secara periodik. Selain itu, kondisi *over flow* pada saat pengisian tangki juga sering terjadi.

Tujuan dari penulisan makalah ini adalah mendesain dan menerapkan otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection*. Dengan cara memasang sensor level dan control valve, alat tersebut berfungsi sebagai pembatas posisi atas dan bawah sebagai indikator bagi control valve saat memberikan keputusan untuk membuka maupun menutup valve, yang diharapkan dapat menjaga ketersediaan air pada *water injection* sehingga dapat mengurangi frekuensi *cement mill* stop dan mengefisiensikan penggunaan air.



Gambar. 1 *water injection* 562-IJ1

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Observasi

Pada tahap ini, penulis melakukan pengamatan kondisi *water injection 562-IJ1* secara langsung. pada Gambar. 2 adalah proses pengukuran dan pengambilan data terhadap objek yang dibahas.



Gambar. 2 Pengukuran diameter dan ketinggian tangki *water injection 562-IJ1*

2.2 Perancangan

Pada tahap ini, penulis melakukan perancangan berdasarkan kebutuhan konsumen, hasil pemilihan konsep dan studi literatur. Perancangan dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan, yaitu :

1. Menghitung kapasitas tangki penyimpanan air, dengan menggunakan rumus :
Mencari nilai volume tabung[3].

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{\pi D^2 h}{4} && \text{[Persamaan. 1]} \\ &= \frac{\pi 1,7^2 \cdot 1,6}{4} \\ &= 3,63 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

2. Menghitung debit air untuk pengisian tangki, dengan menggunakan rumus :
Mencari nilai debit air[3].

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{V_1}{t} && \text{[Persamaan. 2]} \\ &= \frac{3,63}{0,22} \\ &= 16,5 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

3. Debit air keluaran dari tangki menuju ke *vertical roller mill*, diukur dengan menggunakan *flow meter*
 $Q_2 = 2,09 \text{ m}^3/\text{h}$ [Persamaan. 3]

4. Menghitung durasi yang dibutuhkan untuk mengosongkan tangki dari kondisi penuh, dengan menggunakan rumus :
Mencari nilai waktu pengosongan tangki air[3].

$$\begin{aligned} t_1 &= \frac{V_1}{Q_2} && \text{[Persamaan. 4]} \\ &= \frac{3,63}{2,09} \\ &= 1,74 \text{ h} = 104,4 \text{ menit} \end{aligned}$$

5. Menghitung waktu yang dibutuhkan untuk membuka kembali *control valve* setelah batas atas tersentuh air atau *control valve* tertutup, dengan ketinggian air yang berkurang sebesar 3 cm. Dengan menggunakan rumus :
Mencari nilai waktu[3].

$$V_1 = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad [\text{Persamaan. 5}]$$

$$= \frac{\pi 1,7^2 \cdot 0,03}{4}$$

$$= 0,068 \text{ m}^3$$

$$t_2 = \frac{V_2}{Q_2}$$

$$= \frac{0,068}{2,09}$$

$$= 0,032 \text{ h} = 2 \text{ menit}$$

6. Menghitung ketinggian sensor level yang bawah sebagai indikasi *warning* ke CCR, dengan memperhitungkan durasi yang dibutuhkan *patroller* produksi untuk perbaikan sebesar 50 menit, dengan menggunakan rumus :
Mencari nilai ketinggian[3].

$$V_3 = Q_2 \cdot t_3 \quad [\text{Persamaan. 6}]$$

$$= 2,09 \cdot 0,83$$

$$= 1,73 \text{ m}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi D^2 h}{4}$$

$$1,73 = \frac{\pi 1,7^2 \cdot h}{4}$$

$$1,73 = 2,26 \cdot h$$

$$h = 0,77 \text{ m}$$

$$h = 0,77 \text{ cm}$$

2.3 Realisasi

Pada tahap ini, penulis melakukan proses realisasi dari hasil perancangan, realisasi dilakukan dengan berbagai tahap, diantaranya :

1. Persiapan dan penyediaan material yang dibutuhkan, seperti *round bar* dengan diameter 1,5 cm, kabel 30 meter, *kabel ties 50 cm*, isolasi, kontaktor 2 buah, baut dan mur M8, dan peralatan untuk fabrikasi (gerinda, mesin potong, kikir).
2. Proses pemotongan material pipa diameter 50 mm dengan panjang 180 cm sebagai support untuk level sensor dan pemotongan dudukan kontaktor pada panel lokal dengan panjang 20 cm.
3. Pengujian level sensor sebelum dipasang.
4. Pengujian *control valve* sebelum dipasang.
5. Pemasangan panel lokal.
6. Penarikan kabel dari panel lokal ke *Electric Room 7.2*

7. Pemasangan level sensor pada tangki *water injection 562-IJ1*.
8. Pemasangan *control valve* pada pipa input *water injection 562-IJ1*.
9. Pembuatan program PLC
10. Konek ke I/O panel

2.4 Uji Coba dan Pengamatan Hasil

Pada tahap ini, penulis melakukan uji coba dari otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection 562-IJ1* yang telah selesai direalisasikan, dengan memperhatikan kesesuaian antara program yang dibuat dengan kondisi buka-tutup *control valve*. Serta melakukan pengamatan terhadap ketersediaan air didalam tangki *water injection 562-IJ1* yang berkaitan dengan tingkat keberhasilan proses realisasi ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kriteria Pemilihan Desain

Otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection 562-IJ1* dilatarbelakangi oleh kondisi tangki yang sering kosong sehingga tidak ada suplai air menuju *cement mill*, serta bertujuan untuk mengefisienkan penggunaan air karena pada saat pengisian tangki sering terjadi *over flow*, oleh karena itu proses otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection 562-IJ1* disesuaikan dengan kriteria konsep rancangan yang telah disusun berdasarkan kebutuhan konsumen.

Kriteria Konsep Rancangan yang telah disusun diantaranya :

- a. Level Air pada tangki terjaga ketinggiannya/ketersediaannya.
- b. Pengisian tangki air tidak terpengaruh lagi oleh *manual valve* sehingga resiko kelalaian oleh patroller produksi dapat dihilangkan.
- c. Tidak lagi terjadi *over flow* akibat kelalaian patroller produksi.
- d. Mudah dalam proses instalasi.
- e. Mudah dalam proses perawatan.
- f. Komponen alat mudah didapat dan dioperasikan.
- g. Harga setiap komponen alat dapat dijangkau.

3.2 Konsep Pemilihan Level Sensor

Berdasarkan data-data hasil observasi dan kriteria pemilihan desain, ada beberapa jenis level sensor yang dapat digunakan untuk mengontrol level air di dalam tangki, diantaranya :

1. Sensor ketinggian konduktifitas/kapasitivitas
2. Sensor jenis apung
3. Sensor jenis ultrasonic

Berdasarkan jenis-jenis level sensor diatas, ada beberapa indikator yang digunakan untuk memilih sensor yang tepat. Maka perlu dilakukan pemilihan desain yang sesuai, hal ini dilakukan dengan menggunakan media tabel pembobotan, seperti pada tabel 4.4 berikut.

Tabel. 1 Tabel pembobotan konsep pemilihan level sensor

No	Aspek Penilaian	Bobot (%)	Sensor					
			1		2		3	
			Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)
1	Mudah dalam proses instalasi	25	3	15	4	20	3	15
2	Mudah dalam proses perawatan	25	3	15	4	20	4	20
3	Komponen alat mudah didapat dan dioperasikan.	20	4	16	5	20	4	16

4	Harga setiap komponen alat dapat dijangkau	15	4	12	5	15	3	9
5	Ketahanan terhadap air	15	3	9	3	9	4	12
Total Nilai		100		67		84		72

Dari Tabel. 1, kita dapat mengetahui bahwa desain yang paling aplikatif dan sesuai dengan kriteria konsep rancangan adalah sensor nomor 2, yaitu menggunakan sensor jenis apung.

3.3 Konsep Pemilihan Control Valve

Control valve yang dipergunakan, hanya untuk aplikasi *on/off* artinya valve hanya bekerja pada kondisi membuka atau menutup (*fully open* atau *fully closed*). Kemudian untuk actuatorsnya menggunakan *pneumatic actuator* karena kemudahan fasilitas udara di sekitar area. Ada beberapa jenis *control valve* yang dapat digunakan, diantaranya :

1. *Control valve* jenis *globe*.
2. *Control valve* jenis *ball*.
3. *Control valve* jenis *butterfly*.

Berdasarkan jenis-jenis *control valve* diatas, ada beberapa indikator yang digunakan untuk memilih *valve* yang tepat. Hal ini dilakukan dengan menggunakan media tabel pembobotan, seperti pada tabel 4.4 berikut.

Tabel. 2 Tabel pembobotan konsep pemilihan control valve

No	Aspek Penilaian	Bobot (%)	Control Valve					
			1		2		3	
			Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)
1	Mudah dalam proses instalasi	25	4	20	4	20	4	20
2	Mudah dalam proses perawatan	25	3	15	4	20	4	20
3	Ketahanan terhadap abrasif media air	20	4	16	4	16	2	8
4	Harga setiap komponen alat dapat dijangkau	15	2	6	4	12	5	15
5	Dapat menutup dengan sempurna	15	4	12	4	12	4	12
Total Nilai		100		69		80		75

Dari Tabel. 2, kita dapat mengetahui bahwa desain yang paling aplikatif dan sesuai dengan kriteria konsep rancangan adalah sensor nomor 2, yaitu menggunakan *control valve* jenis *ball*.

3.4 Realisasi

Beberapa tahapan realisasi sudah dilakukan, diantaranya proses pemotongan material sesuai dengan dimensi / ukuran profil yang dibuat, proses penarikan kabel, proses pengujian level sensor tipe pelampung dan control valve sebelum dipasang, proses pemasangan panel lokal, proses pemasangan level sensor dan control valve, pembuatan program PLC dan proses koneksi ke I/O panel. Seperti pada gambar dibawah ini merupakan tahapan-tahapan realisasi.



Gambar. 3 Pengujian level sensor sebelum dipasang

Pada Gambar. 3 adalah tahapan pengujian level sensor sebelum dipasang, apabila level sensor pada posisi keatas maka ada resistansi yang terukur pada multimeter tetapi apabila posisi level sensor kebawah tidak ada resistansi yang terukur.



Gambar. 4 Pengujian *control valve* sebelum dipasang

Pada Gambar. 4 adalah tahapan pengujian *control valve* sebelum dipasang, menggunakan input tegangan 220 VAC dan udara bertekanan sebesar 6 Bar. Hasilnya adalah pada kondisi normal, *valve* dalam kondisi tertutup. Tetapi apabila tegangan dan udara diaplikasikan bersamaan maka *valve* akan membuka, jika hanya salah satu yang diaplikasikan maka *valve* tetap tertutup.



Gambar. 5 Panel lokal untuk *control valve* 562-IJ1

Kemudian tahapan selanjutnya adalah pemasangan panel lokal untuk *control valve* 562-IJ1 seperti pada Gambar. 5. Selain itu, juga dilakukan penarikan kabel menuju ke *electric room* 7.2 dengan panjang kabel 30 meter.



Gambar. 6 Pemasangan level sensor pada tangki 562-IJ1

Pada Gambar. 6 adalah tahapan pemasangan level sensor pada tangki 562-IJ1, menggunakan level sensor tipe pelampung. Supportnya menggunakan *round bar* diameter 1,5 cm dengan panjang 170 cm dan diikat menggunakan kabel ties pada tangga.



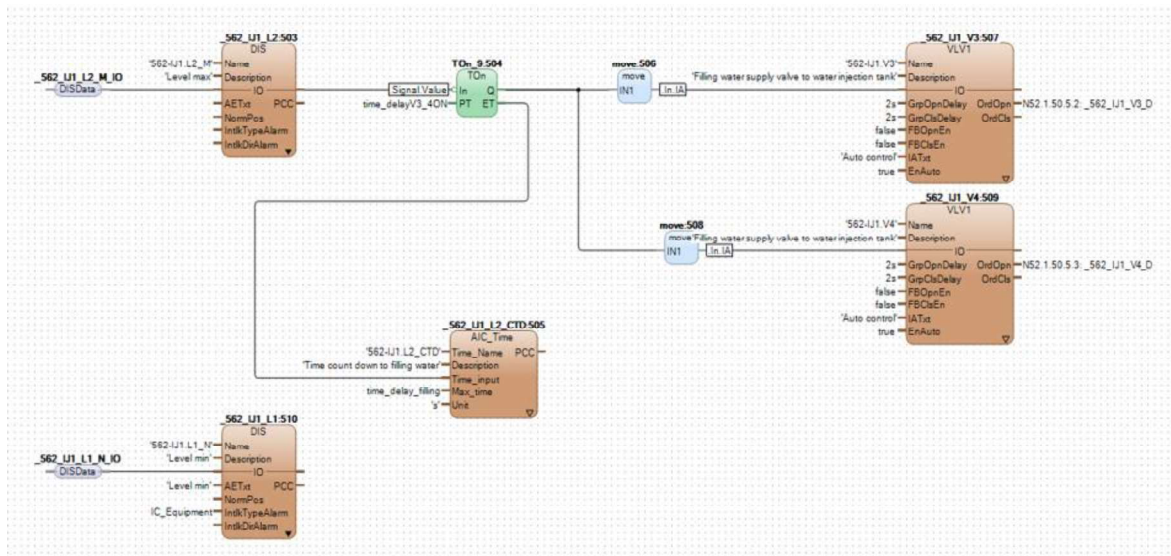
Gambar. 7 Pemasangan *control valve* pada pipa input tangki 562-IJ1

Pada Gambar. 7 adalah tahapan pemasangan *control valve* pada pipa input untuk tangki 562-IJ1, menggunakan *control valve* jenis *ball* dengan diameter pipa 1,5 inch dan 1 inch. Pemasangan dilakukan oleh karyawan mekanik dan karyawan kontraktor.



Gambar. 8 Koneksi I/O panel *control valve* 562-IJ1

Pada Gambar. 8 adalah tahapan koneksi ke I/O panel yang berada di *electric room* 7.2. Untuk *control valve* menggunakan *slot spare* yang tersedia yaitu I/O nomor 2 dan 3. Untuk inputnya menggunakan -DI 01 dan outputnya menggunakan -DO 05.



Gambar. 9 Desain program PLC

Pada Gambar. 9 adalah desain program PLC, Perancangan rangkaian PLC ini menggunakan aplikasi Control Builder M Professional versi 5.1.1 dengan bahasa pemrograman menggunakan *Function Block Diagram* (FBD) sedangkan untuk *display*-nya menggunakan ABB 800XA DCS Operator Interfaces. Prinsip kerjanya adalah saat kondisi level tangki air rendah, sensor level 2 atau *level max* mengindikasikan (*FALSE*) dan sensor level 1 atau *level min* mengindikasikan (*FALSE*) maka *control valve* terbuka (*TRUE*) sehingga akan terjadi pengisian. Saat kondisi level tangki air tinggi, sensor level 2 mengindikasikan (*TRUE*) dan sensor level 1 mengindikasikan (*TRUE*) maka *control valve* tertutup (*FALSE*). Kemudian *time delay* akan mulai bekerja yaitu sebesar 120 detik berdasarkan perhitungan untuk membuka *control valve*. Dan prinsip kerja akan berulang setelah 120 detik. Tetapi, dalam suatu kondisi apabila setelah 120 detik dan tidak terjadi pengisian dan sensor level 1 tersentuh air, yang berarti sensor level 2 mengindikasikan (*FALSE*) dan sensor level 1 mengindikasikan (*TRUE*) akan ada indikasi *warning* pada CCR.

3.5 Dampak Setelah Pemasangan Alat

Kondisi sebelum dilakukan otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection* 562-ij1, dari bulan november 2017 sampai bulan januari 2018 telah terjadi 7 kali *vertical roller mill stop* akibat dari kegagalan *water injection* 562-ij1 dengan rata-rata waktu berhenti selama 0,34 jam. kemudian rata-rata produksi semen selama bulan November 2017 sampai bulan Januari 2018 sebesar 231,568 ton/jam[4]. sehingga biaya produksi yang hilang sebesar :

- Harga semen per kilogram = Rp 950,00[4]
- Rata-rata produksi semen = 231,568 ton/jam
- Rata-rata waktu berhenti = 0,34 jam
- Jumlah produksi yang hilang = Rata-rata produksi semen X Rata-rata waktu berhenti
- = 231,568 X 0,34
- = 78,739 ton
- = 78739 kg
- Biaya produksi yang hilang = Jumlah produksi yang hilang X Harga semen per kilogram
- = 78739 X 950
- = Rp 74.802.050,00

Kondisi setelah dilakukan otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection* 562-IJ1, dari bulan Februari 2018 sampai April 2018 tidak terjadi *vertical roller mill stop* akibat dari kegagalan *water injection* 562-IJ1. Sehingga tidak ada biaya produksi yang hilang akibat kegagalan operasi dari *water injection* 562-IJ1.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil tugas akhir otomatisasi sistem pengisian air pada tangki *water injection* 562-IJ1 didapatkan kesimpulan bahwa ketersediaan air pada tangki *water injection* 562-IJ1 dapat dijaga levelnya dengan settingan waktu delay 120 detik pada buka-tutup *control valve* serta resiko kelalaian dari *patroller* produksi dapat dihilangkan. Disamping itu, frekuensi *vertical roller mill stop* akibat dari kegagalan *water injection* 562-IJ1 juga berkurang. Hal ini dibuktikan dengan kondisi setelah dilakukan otomatisasi, yaitu tidak terjadi *vertical roller mill stop* akibat dari kegagalan *water injection* 562-IJ1, sedangkan sebelum dilakukan otomatisasi terjadi *vertical roller mill stop* sebanyak 7 kali, sehingga terjadi penghematan biaya produksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] GmbH. Loesche, "*Operating Instructions LOESCHE Mill Type: LM 56.3+3 with LDC*", Germany, 2012.
- [2] T. Krapkat. 2012. *Vibration Vertical Roller Mill*. India.
- [3] S. P. Ojak, "Menentukan Debit, Volume dan Waktu", Bogor, Asa Generasiku; 2012.
- [4] PT. Holcim Indonesia, "TIS (Technical Information System)", Tuban, 2017.

PERANCANGAN SISTEM PNEUMATIK DAN KONTROL *KNIFE GATE VALVE BURNER* DI INDUSTRI SEMEN

M Abdur Rohman Al Baab¹, Sonki Prasetya¹, Awang Darmawan²

¹ Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp: (62-21) 7863530,

Fax: (62-21) 7863530, albaab.holcim@gmail.com

²[PT. Holcim Indonesia Tbk.](http://PT.Holcim Indonesia Tbk.)

Abstrak

Salah satu proses dalam pembuatan semen adalah proses pembakaran, alat utama yang digunakan adalah tanur putar atau rotary kiln. Didalam kiln terjadi proses kalsinasi (hingga 100%), sintering, dan clinkering. Temperatur material yang masuk kedalam tanur putar adalah 1100-1400°C, sedangkan temperatur klinker yang keluar dari tanur putar sekitar 800-900°C. Pembakaran pada tanur putar menggunakan alat yang bernama burner dengan batu bara sebagai bahan bakar utama. Karena menggunakan batu bara sebagai bahan bakarnya, maka diperlukan perlakuan khusus saat proses perbaikan jalur batu bara berlangsung. Batu bara harus diisolasi agar terhindar dari kontaminasi udara luar terutama oksigen agar tidak mempengaruhi senyawa yang ada pada batu bara tersebut saat akan digunakan untuk penyalaan awal dan untuk mencegah adanya bahaya ledakan dan kebakaran karena adanya proses perbaikan yang menghasilkan percikan api atau panas mengingat teori segitiga api bahwa api muncul karena adanya bahan bakar, udara, dan sumber api atau panas, untuk mencegah hal tersebut terjadi diperlukan suatu sistem isolasi khusus untuk menutup saluran batu bara saat proses maintenance berlangsung. Tujuan dari studi ini adalah melakukan proses perancangan pemasangan katup gerbang (*knife gate valve*) menggunakan sistem pneumatik dipembakar utama (*Main Burner*) dan *Calsiner burner* untuk mengisolasi sisa bahan bakar yang masih berada didalam saluran burner agar tidak terkontaminasi oleh udara luar sehingga terhindar dari bahaya ledakan atau kebakaran. Katup gerbang (*Knife Gate Valve*) menggunakan sistem kontrol otomatis dari *Central Control Room (CCR)* sehingga tidak perlu dioperasikan secara manual oleh manusia untuk memenuhi standar faktor keamanan. Adapun penerapan sistem keamanan pada studi ini mengacu kepada aturan yang berlaku di *PT Holcim Indonesia Tbk*, bahwa seluruh equipment yang memiliki resiko ledakan harus sesuai dengan regulasi *ATEX (Atmosphere Explosion)*. Dengan kata lain pemasangan katup gerbang (*Knife gate valve*) dipembakar utama (*Main Burner*) dan *Calsiner Burner* ini sebagai alat pengaman saat burner dalam proses perawatan untuk mencegah adanya bahaya kebakaran.

Kata Kunci : Otomatis, *Knife gate valve*, *ATEX*, Pneumatik, Sistem Kontrol.

Abstract

The cement manufacturing process is combustion. The main processes are combustion process, the main tool used is rotary kiln or rotary kiln. Inside the kiln occurs the process of calcination (up to 100%), sintering, and also clinkering. The temperature of the material entering the rotary kiln is 1100-1400 ° C, while the clinker temperature coming out of the rotary kiln is 800-900 ° C. Burning process in kilns using a tool so called burner employs coal as the main fuel with the cost as well as coal reserves consideration. Due to the coal used as its fuel, it is necessary have a special treatment when the coal line repair process takes place. The coal must be isolated to avoid outer air (oxygen) contamination therefore it will not affect the coal contents when it will be used for initial ignition. It is also used for preventing explosion and fire hazards due to a repairing process can produces sparks or heat given as the fire triangle theory states that fire arises because of the fuel, air, and the source of fire or heat, In order to prevent the dangerous event it requires a special isolation system to close the coal channel during the maintenance process takes place. The objective of this study is to design an implementation of *Knife Gate valve* using a pneumatic system in *Main Burner* and *Calsiner burner* in order to isolate the remaining fuel in the burner channel. Therefore, it will not be influenced by the outside air (oxygen) to avoid the fire or explosion hazard. *Knife Gate Valve* regulates coal channel with the automatic control system from *Central Control Room (CCR)* so it does not need to be manually operated by humans. Hence, it ensures the safety of personels. As an addition, the implementation of this safety system refers to the rules applicable in *PT Holcim Indonesia Tbk*, that all equipment that has an explosion risk must comply with *ATEX (Atmosphere Explosion)* regulation. In other words the installation of *Knife gate* in *Main Burner* and *Calsiner Burners* meant for a safety device during the maintenance of burner process to avoid fire.

Keywords: Automatics, *Knife gate valve*, *ATEX*, Pneumatic, Control System.

1. PENDAHULUAN

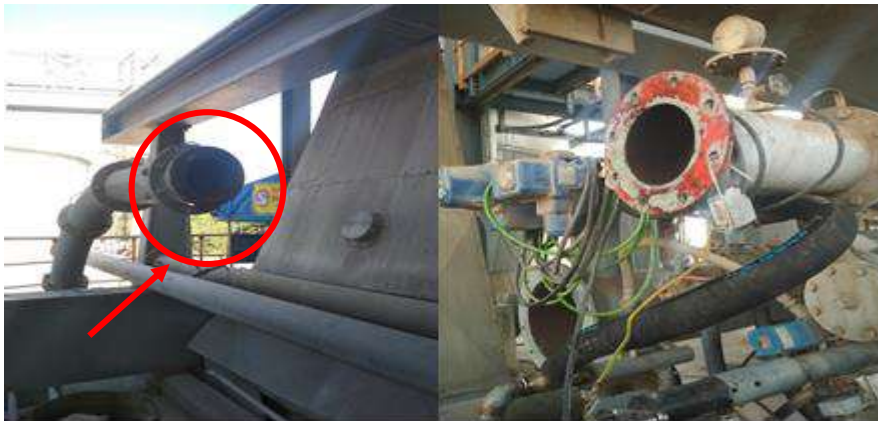
Salah satu proses dalam pembuatan semen adalah proses pembakaran, alat utama yang digunakan adalah tanur putar atau *rotary kiln*, didalam *rotary kiln* terdapat equipment penghasil api sebagai sumber

panas dalam *rotary kiln* dan sebagai *equipment* untuk melakukan proses *mixing* antara bahan bakar batu bara dengan udara disebut dengan *burner*[2].

1.1 Latar Belakang

Saat proses perbaikan di *burner* berlangsung, sesuai regulasi yang berlaku di PT. Holcim Indonesia bahwa seluruh area kerja dengan resiko bahaya ledakan yang tinggi harus terdapat suatu sistem *safety* yang sesuai dengan standar, karenanya di *burner* harus terdapat sistem isolasi jalur batu bara dari kontaminasi udara luar untuk mencegah timbulnya bahaya ledakan atau kebakaran. Sementara selama ini belum terdapat fasilitas untuk mengisolasi jalur tersebut. Standar yang digunakan oleh PT. Holcim Indonesia tersebut adalah standar dari *ATEX (Atmosphere Explosion)*[3]. *ATEX* adalah istilah keselamatan kerja yang menitikberatkan perhatian terhadap potensi terjadinya peledakan di tempat kerja, *ATEX* diciptakan sebagai upaya melindungi terjadinya kecelakaan terhadap pekerja, alat kerja dan lingkungan kerja. Diambil dari namanya, yang dimaksud *ATEX* adalah kondisi atmosfer ditempat kerja dalam hubungannya dengan kemungkinan akan terjadi peledakan, banyak tempat kerja yang memiliki potensi meledak akibat adanya bahan mudah terbakar seperti, gas *hydrocarbon* di pabrik petrokimia, atau debu organik seperti debu perusahaan tambang, atau uap mudah terbakar dari cat pada pabrik pengecatan mobil. Tempat kerja dalam kondisi atmosphere yang dimaksud ialah keadaan lingkungan kerja di alam terbuka dengan temperature *ambient* antara -20°C hingga 40°C dan tekanan 0,8-1,1 bar[4].

Tidak tersedianya sistem isolasi jalur batu bara tersebut dapat menimbulkan kerugian dari beberapa aspek diantaranya yaitu dari aspek *environment* terdapat banyaknya ceceran batu bara di lantai sehingga dapat mencemari lingkungan dan berpotensi terhirup oleh pekerja. Dari aspek *safety* adanya kegiatan *maintenance* yang menimbulkan percikan api atau panas akan memicu terjadinya ledakan atau kebakaran mengingat teori segitiga api bahwa api dapat tercipta karena adanya bahan bakar, udara (oksigen) dan sumber api atau panas, Aspek berikutnya adalah kerusakan properti (*Property Damage*) yang dapat menimbulkan kerugian yang lebih besar. Seperti yang saat *overhaul* Pabrik Holcim Tuban 2 beberapa saat yang lalu, terjadi kebakaran akibat ada percikan api dan menyambar batu bara yang ada pada pipa jalur *burner*, beruntung api belum membesar dan dapat dipadamkan dengan segera[5]. Seperti pada Gambar.1 tidak ada isolasi yang menutup jalur batu bara dari kontaminasi udara dan percikan api.



Gambar.1 Jalur Batubara Saat *Maintenance*

Diperlukan investasi sistem isolasi di jalur batu bara pada *burner* untuk meminimalkan kerugian karena bahaya yang ditimbulkan. Merancang sebuah sistem pneumatik knife gate valve yang dapat dikontrol secara otomatis dapat meminimalkan timbulnya bahaya akibat terbukanya jalur batu bara di burner.

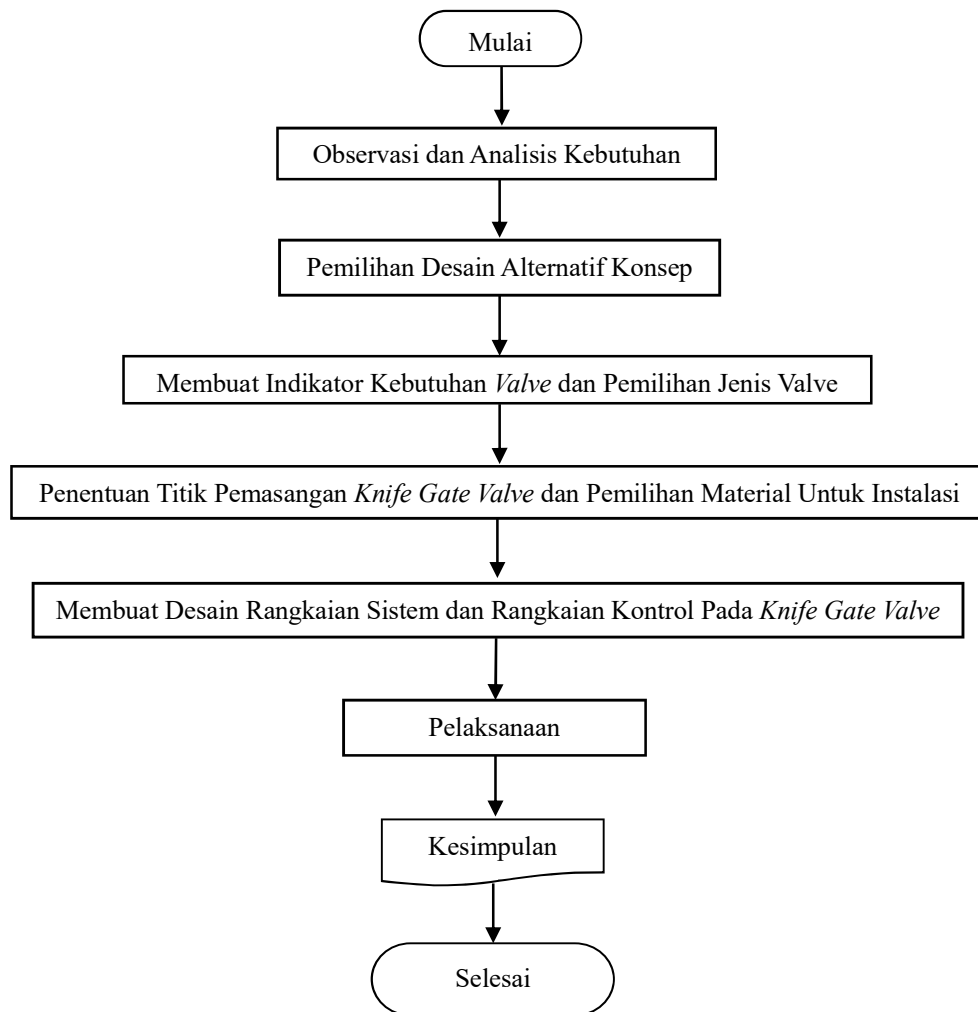
1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari pemasangan *knife gate valve* di jalur batu bara pada *burner* antara lain:

1. Memberikan solusi dari masalah kurangnya keamanan pada jalur batu bara di *burner* saat *maintenance* berlangsung.
2. Mencegah bahaya yang timbul akibat adanya kontaminasi zat lain yang dapat menyebabkan kerusakan properti atau kecelakaan kerja.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan, digambarkan dengan diagram alir di bawah ini:



Gambar.2 Diagram Alir Metode Penelitian

Pada tahap awal, dilakukan observasi untuk mengidentifikasi masalah melalui survey, dan pengumpulan data yang berkaitan dengan kebutuhan yang diperlukan dalam merancang bangun sistem isolasi jalur batubara menggunakan *knife gate valve*. Dilakukan juga pengukuran lokasi, studi buku manual untuk mengetahui besaran tekanan yang dibutuhkan serta diskusi dan wawancara kepada pihak terkait seperti *team member* yang bertanggung jawab di area tersebut untuk mendapatkan informasi bagaimana sistem isolasi batubara saat ini yang diterapkan ketika proses *maintenance* di *burner* berlangsung. Sistem *hydraulic, pneumatic & lubrication* untuk menentukan desain dan konsep sistem isolasi jalur batubara menggunakan *knife gate valve* yang paling mungkin diterapkan di area *main burner* dan *calsiner burner* dengan mempertimbangkan nilai kelebihan dan kekurangan masing-masing alternatif konsep. Melakukan survei lapangan serta observasi dengan supervisi mengenai standar kebutuhan *valve* yang sesuai dengan area yang akan diisolasi.

Survei lapangan dan diskusi dengan pembimbing lapangan untuk menentukan titik pemasangan *knife gate valve* yang paling efektif untuk diterapkan di area *main burner* dan *calsiner burner*. Pemilihan material dan alat berdasarkan pertimbangan pemilihan konsep desain yang akan diterapkan untuk *knife gate valve*. Dari perhitungan besar *pressure* yang dibutuhkan untuk mengoperasikan *knife gate valve*, dilakukan desain sistem dan skema gambar rangkaian kerja dari sistem isolasi batubara menggunakan *knife gate valve* yang akan diterapkan di area *main burner* dan *calsiner burner*. Membuat perbandingan perbandingan dari beberapa jenis sensor dan sistem *PLC* yang akan digunakan berdasarkan indikator yang dibuat sesuai kebutuhan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil observasi yang dilakukan selama masa spesialisasi di Departemen *Maintenance Reliability Hydraulic, Pneumatic & Lubrication* PT.Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Tuban. Ditemukan kendala saat

proses *maintenance* pada *kiln* yaitu jalur batubara untuk *burner* tidak terisolasi dengan baik karena tidak adanya equipment untuk mengisolasi sehingga sangat berpotensi menimbulkan munculnya bahaya jika tidak diisolasi dalam waktu yang lama (saat *shutdown*). Berdasarkan dengan aspek *safety* tersebut, dirancang sistem pneumatik *knife gate valve* untuk meningkatkan keamanan pada jalur batu bara saat proses *maintenance* berlangsung dan mencegah kerusakan properti pada jalur *coal transportation*. Dari hasil survei yang dilakukan di area *Pre-Heater* dan *Kiln* terdapat 3 titik yang harus diisolasi saat proses *maintenance* berlangsung. Dengan rincian 2 *knife gate valve* dengan ukuran DN 125 untuk diarea *calsiner burner* dan 1 *knife gate valve* ukuran DN 175 untuk diarea *kiln burner* seperti pada Gambar.3a dan Gambar.3b dibawah ini



Gambar.3a Saluran Pipa Calsiner Burner



Gambar.3b Saluran Pipa Kiln Burner

Sebagai acuan untuk menentukan jenis valve, maka dibuat indikator disesuaikan dengan kebutuhan sistem di lapangan. Ditentukan 5 indikator (Tabel.1) diantaranya adalah *good sealing system* atau kemampuan menutup yang rapat, *pressure drop* yang rendah, dapat digunakan hingga suhu 250°C, tingkat keausan *gate* rendah dan yang terakhir adalah harga[6]. Adapun penilaian dari tipe *valve* didasarkan angka dengan skala 1 sampai dengan 5 dimana nilai terbaik adalah yang tertinggi.

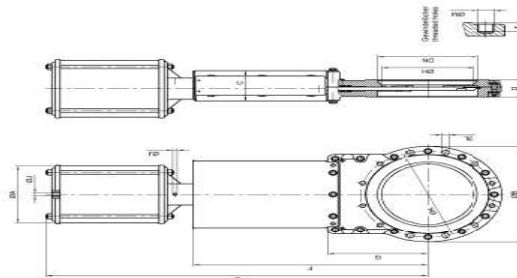
Tabel.1 Komparasi Jenis Jenis Valve

Jenis Valve Indikator	Reduced Ball Valve	Butterfly Valve	Knife Gate Valve	Globe Valve
Kerapatan seal	3	4	5	3
Pressure Drop rendah	4	3	4	5
Tahan sampai suhu 250°C	3	4	5	4
Keausan gate rendah	3	3	5	3
Harga	4	5	3	4
Total	17	19	22	19

1 : Sangat buruk 2 : Buruk 3 : Cukup 4 : Baik 5 : Sangat baik

3.1 Pemilihan Knife Gate Valve

Berdasarkan tabel komparasi yang sudah dibuat, *knife gate valve* dipilih untuk dipasang pada *main burner* dan *calsiner burner* sebagai isolasi saat proses perawatan berlangsung.



Gambar.5 Knife Gate Valve GEFA[7]

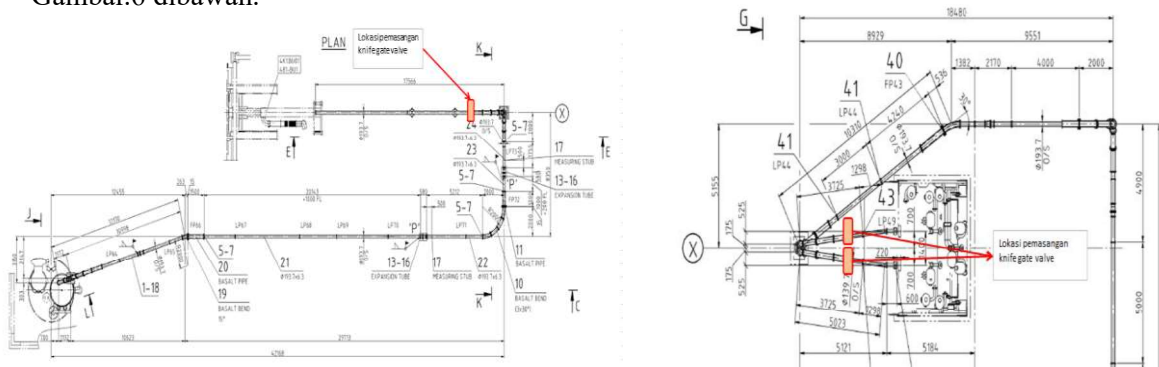
Knife gate valve merk *GEFA* dipilih untuk dipasang karena banyak digunakan pada area *coal transportation* di PT Holcim Indonesia Tbk Pabrik Tuban dan sudah mendapat standardisasi dari *ATEX*, ukuran *knife gate valve* yang akan dipasang pada *main burner* mengikuti ukuran pipa jalur batu bara nya

yaitu ukuran 8 inch. Gambar.5 diatas memuat spesifikasi dari *knife gate valve* merk *GEFA* yang akan dipasang.

3.2 Penentuan Titik Pemasangan dan Pemilihan Material

3.2.1 Titik Pemasangan

Sebelum dilakukan pemilihan dan penentuan kapasitas alat, terlebih dahulu harus dilakukan pemetaan berdasarkan kondisi aktual di lapangan sehingga di dapatkan titik yang paling mudah untuk dilakukan pemasangan *knife gate valve*. Dari hasil survei dilapangan ditetapkan titik pemasangan *knife gate valve* berdasarkan *flow sheet coal transportation* dan pertimbangan kemudahan pengerjaan (tidak perlu memotong pipa jalur batu bara yang terlapisi *wool*) seperti pada Gambar.6 dibawah.



Gambar.6 Lokasi Pemasangan *knife gate valve* di burner[1]

3.3 Pemilihan Material

Sebagai acuan menentukan komponen aktuatur pengendali baik silinder pneumatik maupun kebutuhan pasokan tekanan sebagai sumber daya dari penggerak, maka dilakukan perhitungan untuk menentukan spesifikasinya.

a. Perhitungan Diameter Piston

$\sum F = m \cdot a$[Persamaan.1] ; dimana $a = 0$ (benda dalam keadaan tidak bergerak)

Maka persamaan diatas menjadi

$$\sum F = 0$$

Dari persamaan 1 dapat diurai menjadi :

$$\sum F_x = 0$$
.....[Persamaan.2]

$$\sum F_y = 0$$
.....[Persamaan.3]

$$\sum F_z = 0$$
.....[Persamaan.4]

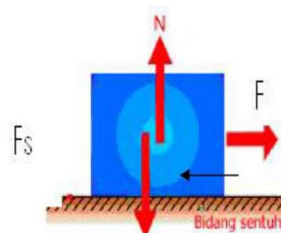
Keterangan :

F = Gaya (N)

F_s = Gaya Gesek (N)

N = Gaya Normal

W = $m \cdot g$ = Gaya Berat (N)



Gambar.7 Gaya yang bekerja pada *gate*

$$\sum F_y = 0$$
.....[Persamaan.3]

$$N = W_{gate} + W_{baut}$$

$$N = 520N + 20N$$

$$N = 540N$$

$$\sum F_x = 0$$
.....[Persamaan.2]

$$F - F_s = 0$$

$$F = \mu_s \cdot N$$
 ($\mu_s \rightarrow$ Tetapan statis gaya gesek besi terhadap baja).....[Persamaan.5]

$$F = 0,74 \cdot 540N = 399,6N$$

Diketahui gaya keseluruhan yang bekerja pada ujung piston adalah 399,6 N.

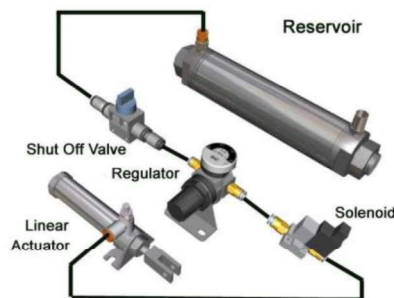
Ketika akan menentukan konsep desain, maka dibuat indikator yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem di lapangan. Ditentukan 8 indikator seperti yang tercantum pada Tabel.2 di bawah ini. Adapun penilaian dari tipe *valve* didasarkan angka dengan skala 1 sampai dengan 5 dimana nilai terbaik adalah yang

tertinggi. Nilai tersebut merupakan penskalaan dari nilai actual yang dimiliki masing-masing indikator komponen, khusus point 5, penilaian tertinggi didasarkan dari nilai actual terendah.

Tabel.2 Komparasi Desain Konsep

Indikator	Konsep			
	1	2	3	4
Kemudahan pengerjaan	4	3	3	4
Kontrol operasi dan monitoring	4	4	4	2
Biaya pembuatan	4	4	3	3
Biaya penggantian sparepart	4	4	3	2
Kemudahan perawatan	3	4	3	3
Kesesuaian lokasi & <i>equipment</i>	3	3	4	2
Keawetan	3	3	3	3
Keamanan	2	4	3	4
Score Total	27	29	26	23

Berdasarkan pertimbangan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing alternatif konsep, maka dipilih Konsep 2 yaitu Penggerak *valve* menggunakan sistem pneumatik dan sistem kontrol otomatis.



Gambar.8 Penggerak *Valve* Tenaga Pneumatik[8]

Pada konsep kedua ini *valve* digerakkan menggunakan sistem pneumatik dengan sumber tenaga dari kompresor. Udara mengalir dari *kompresor* kemudian mengalir ke *shut-off valve*, dari *shut-off valve* udara diatur keluaran *pressure* nya oleh *regulator*. Setelah dari *regulator*, udara memberi sinyal ke *solenoid valve* dan dari *solenoid valve*, udara akan diteruskan ke *valve* untuk bergerak maju atau mundur sesuai instruksi dari *solenoid valve*. Pada konsep ini *valve* dapat digerakkan secara otomatis dari *control room* karena *solenoid valve*-nya dihubungkan ke sistem kontrol.

Pemilihan jenis *valve* untuk sistem isolasi pada area *main burner* dan *calsiner burner* yang paling utama adalah harus terdapat label *ATEX* karena merupakan area kerja dengan resiko ledakan yang tinggi, disamping itu ada beberapa indikator yang disesuaikan dengan kebutuhan di area tersebut dan disesuaikan dengan jenis-jenis *valve* yang ada. Berikut hasil komparasi beberapa *valve* yang disesuaikan dengan indikator yang telah ditentukan dan dipersyaratkan oleh *ATEX*[3]:

- *material pulverized coal (must be comply with ATEX standart).*
- *temperature resistant up to 250 deg C.*
- *pressure 3 bar.*

Sebelum menentukan diameter piston yang akan digunakan, harus ditentukan berapa besar gaya yang akan bekerja pada silinder atau berapa besar beban yang akan didorong/ditarik oleh piston, selain itu juga harus diketahui terlebih dahulu posisi dari silinder terhadap bebannya, hal ini bertujuan untuk menentukan berapa besar *load ratio*. Adapun persamaannya sebagai berikut[9]:

$$F = P \times A \times \eta \dots\dots\dots[Persamaan.6]$$

Dimana :

F = Gaya Gerak Piston (N)

P = Tekanan (Pa)

A = Luas Permukaan Piston (m²)

η = Load Ratio \rightarrow (0,7 untuk operasi seimbang ; 0,8 untuk operasi dinamis).

Jika diketahui F = 399,6 N ; P = 7 bar \rightarrow 7 x 10⁵ Pa dan $A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$, berdasarkan rumus dari persamaan 6 di peroleh ukuran untuk diameter piston yaitu 9,5 . 10⁻³ m, karena ketidaktersediaan ukuran piston dilapangan, maka diambil ukuran 16mm untuk keamanan dengan panjang yang disesuaikan dengan ukuran panjang lintasan piston.

b. Kebutuhan Udara

Untuk mendapatkan kebutuhan udara pada system pneumatik seperti panjang langkah dari piston saat bekerja, maka panjang dari langkah piston adalah sesuai dengan diameter dari pipa pada jalur batu bara yaitu berukuran 8 inch yang jika dikonversi kedalam centimeter yaitu sebesar 20,23cm. Spesifikasi debit persentimeter langkah piston dengan ukuran diameter piston 16mm dengan tekanan kerja 7 bar adalah 0,016. Karenanya piston yang digunakan adalah tipe *double acting* maka digunakan rumus[9]:

$$Q = 2 (s \cdot n \cdot q) \dots \dots \dots [\text{Persamaan.7}]$$

Dimana :

- Q = Kebutuhan Udara Silinder (l/min)
- q = Kebutuhan Udara Per centimeter Langkah Piston
- s = Panjang Langkah Piston (cm)
- n = Jumlah Siklus Kerja Permenit

Dari persamaan 7 didapat hasil untuk kebutuhan udara $Q = 2,46 \times 10^{-6} \text{ L/min}$

c. Perhitungan Kecepatan Fluida

Debit udara yang keluar dari *compressor* adalah 2,46 x 10⁻⁸ m³/s. Karena dalam rangkaian *knife gate valve* menggunakan 2 ukuran pipa , diameter 1,5 inch (38,1 mm) dan 16 mm. Maka harus di hitung kecepatan udara dalam pipa 38,1 mm (output dari jalur udara yang tersedia) dan 16 mm (input ke solenoid valve), viskositas udara (η): 0,017 x 10⁻³ $\frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$ dan massa jenis udara (ρ) : 1,293 kg/m³

- Pipa 38,1 mm

$$Q = v \times A \dots \dots \dots [\text{Persamaan.8}]$$

$$2,46 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = v \times \pi r^2$$

$$2,46 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = v \times 3,14 \times (19,5 \times 10^{-3})^2$$

$$v = 2,197 \times 10^{-3} \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} \dots \dots \dots [\text{Persamaan.9}]$$

$$Re = (1,293 \text{ kg/m}^3 \times 2,197 \times 10^{-3} \text{ m/s} \times 0,381 \text{ m}) / 0,017 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$$

$$Re = 63,665$$

Re < 2000 maka aliran yang terjadi adalah *laminer*.

- Pipa 16 mm

$$Q = v \times A \dots \dots \dots [\text{Persamaan.8}]$$

$$2,46 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = v \times \pi r^2$$

$$2,46 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} = v \times 3,14 \times (8 \times 10^{-3})^2$$

$$v = 1,224 \times 10^{-2} \text{ m/s}$$

Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\eta} \dots \dots \dots [\text{Persamaan.9}]$$

$$Re = (1,293 \text{ kg/m}^3 \times 1,224 \times 10^{-2} \text{ m/s} \times 0,016 \text{ m}) / 0,017 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$$

$$Re = 1,489$$

Re < 2000 maka aliran yang terjadi adalah *laminer*.

d. Perhitungan Kehilangan Tenaga

- Perhitungan factor gesek (f)

Pada rangkaian *knife gate valve* terdapat rangkaian pipa vertical dan horizontal.

Aliran Vertical

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots [Persamaan.10]$$

- Hasil : a. Pipa 38,1 mm = 1,005 mm
b. Pipa 16 mm = 42,98 mm

Aliran Horizontal

$$f = \frac{16}{Re} \dots \dots \dots [Persamaan.11]$$

- Hasil : a. Pipa 38,1 mm = 0,2513 mm
b. Pipa 16 mm = 10,738 mm

- Kerugian ketinggian karena gesekan(Hf)

$$Hf = \frac{4.f.l.v^2}{2.g.d} \dots \dots \dots [Persamaan.12]$$

- Hf mendatar

$$Hf (2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,016 \text{ m}) = 4 \times 10,738 \times 6 \text{ m} \times (1,224 \times 10^{-2} \text{ m/s})^2$$

$$Hf = 0,12 \text{ m}$$

- Hf menaik

$$Hf (2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,0381 \text{ m}) = 4 \times 1,005 \times 2 \text{ m} \times (2,197 \times 10^{-3} \text{ m/s})^2$$

$$Hf = 1,57 \times 10^{-3} \text{ m}$$

- Kerugian belokan(Hb)

$$K = [0.131 + 1,847 \left(\frac{D}{2R}\right)^{3.5}] \left[\frac{\theta}{90}\right]^{0.5} \dots \dots \dots [Persamaan.13]$$

$$Hm = k \times \frac{v^2}{2.g} \dots \dots \dots [Persamaan.14]$$

- Keterangan = D = Diameter pipa = 0,0381 m
R = Jari-jari sumbu = 0,015 m
 θ = sudut = 90°
v = kecepatan fluida = 2,197 × 10⁻³ m/s
k = koefisien belokan

- $k = [0.131 + 1,847 (0,0381/2 \cdot 0,015)^{3.5}] [90/90]^{0.5}$
= [0.131 + 1,847 (2,308)][1]
= 4,393

- $Hb = k \times \frac{(2,197 \times 10^{-3})^2}{2.10}$
= 4,393 × 2,413. 10⁻⁷ = 1,06 × 10⁻⁶ m

- Htotal = H + Hf + Hb [Persamaan.15]

$$= 2 \text{ m} + 0,12 \text{ m} + 1,57 \times 10^{-3} \text{ m} + 1,06 \times 10^{-6}$$

$$= 2,1216 \text{ m}$$

- Pressure suplai udara = $\rho \times g \times Htotal$ [Persamaan.16]

$$= 1,293 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 2,1216 \text{ m}$$

$$= 27,432 \text{ Pa} = 0,27432 \text{ bar}$$

- Untuk menggerakkan *solenoid valve* membutuhkan 7 bar, maka kebutuhan jalur *pressure* sebelum *solenoid valve* = jumlah *pressure* untuk menggerakkan *solenoid valve* di tambah *pressure headloss*.

$$p = 7 \text{ bar} + 0,27432 \text{ bar}$$

$$= 7,27432 \text{ bar}$$

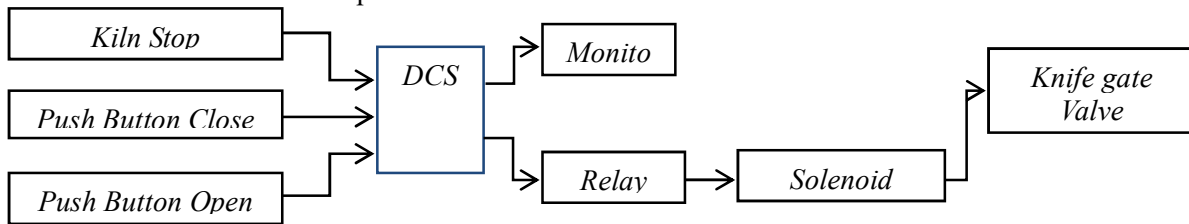
$$= 7,27 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

3.4 Perancangan Sistem Kontrol dan Sistem Pneumatik

Pada tahap perancangan alat, dilakukan pembuatan rangkaian sesuai konsep desain yang telah ditentukan, hal ini ditujukan untuk mendapat hasil yang sesuai. Beberapa tahapan perancangan alat tugas akhir diantaranya :

A. Prinsip Kerja Alat

Tahap pertama perancangan suatu sistem adalah prinsip kerja. Prinsip kerja dari sistem *knife gate valve* di *burner kiln* ini disimulasikan pada Gambar.9



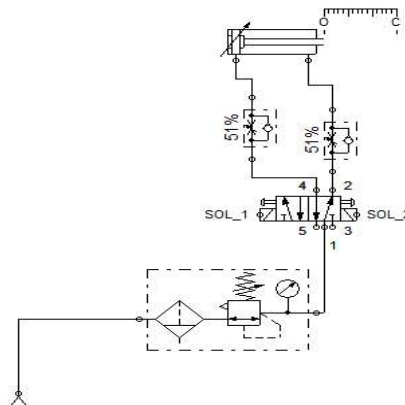
Gambar.9 Diagram Prinsip Kerja Alat

Sistem alat ini menggunakan *Distributed Control System (DCS)* sebagai pengendali utama. Sistem yang dirancang ter-*interlock* dengan *Kiln*, saat *Kiln* beroperasi sistem tidak dapat dijalankan dan saat *kiln* stop sistem baru bisa dijalankan karena isolasi jalur batubara dilakukan saat proses *maintenance* berlangsung.

Prinsip kerja alat dimulai saat ketika *kiln* stop. Lalu modul *digital output (DO)* berupa *push button close* dan *push button open* mengaktifkan relay, dari relay tersebut sinyal 24VDC menuju ke *solenoid valve (SOL_1/SOL_2)* kemudian *solenoid* bekerja dan meneruskan udara ke silinder sehingga piston bergerak maju/mundur sesuai perintah dari *ccr*. Setelah *knife gate valve* terbuka atau tertutup penuh akan memberi isyarat berupa lampu indikator, hijau untuk tertutup penuh dan merah untuk terbuka penuh.

B. Rangkaian Kontrol Pneumatik

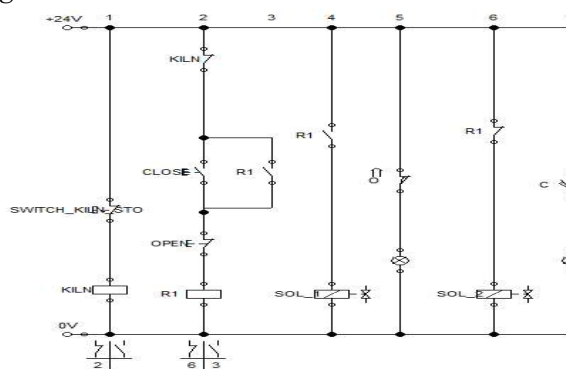
Perancangan kontrol pneumatik *knife gate valve* ini meliputi beberapa blok komponen antara lain *FRL Unit*, katup 5/2 NC dengan penggerak *solenoid* sebagai aktuatornya adalah piston *double acting*. Cara kerja dari sistem pneumatik yang dibuat dibawah ini adalah udara mengalir dari kompresor melewati *FRL unit*, dari *FRL unit* udara yang diteruskan ke *directional valve* mengandung oli hal ini bertujuan untuk melumasi *pistonrod* agar bergerak dengan smooth, setelah ke *directional valve* udara diteruskan ke silinder dan piston akan bergerak sesuai perintah. Gambar.10 merupakan rangkaian sistem pneumatik *knife gate valve*.



Gambar.10 Rangkaian Pneumatik Knife Gate Valve

c. Rangkaian Sistem Kontrol PLC

Gambar.11 menjelaskan tentang rangkaian kontrol *plc* untuk pengoperasian sistem isolasi jalur batubara menggunakan *knife gate valve*.



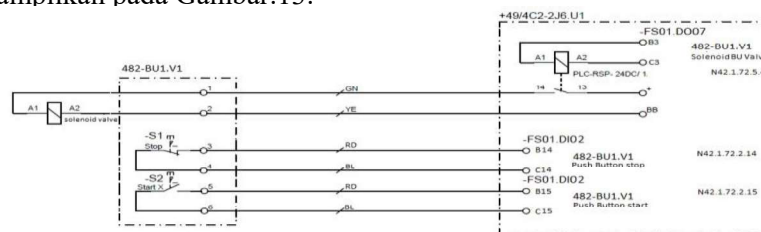
Gambar.11 Rangkaian Kontrol PLC Knife Gate Valve

Berikut ini prinsip kerja dari rangkaian PLC

1. Saat *switch kiln* masih terhubung sistem tidak dapat dijalankan, dengan kata lain sistem dapat beroperasi jika *kiln* stop.
2. Jika *kiln* sudah stop, saat *push button close* ditekan maka akan mengaktifkan **R1** dan akan memberi sinyal ke **SOL_1** untuk meneruskan udara ke silinder.
3. Setelah posisi *knife gate valve fully close*, *limit switch* akan mengaktifkan lampu indikator dan akan menyala hijau tanda jika posisi *gate* menutup.
4. Saat *push button open* ditekan maka akan memutus aliran listrik pada **R1** dan **SOL_2** aktif sehingga posisi *gate* di *fully open*.
5. *Limit switch* akan mendeteksi posisi *gate* dan memberi sinyal melalui indikator yang menyala merah pada layar.
6. Prinsip kerja akan berulang ketika *push button open* atau *close* ditekan oleh operator dari *ccr*.

d. Perancangan Hardware

Perancangan dan pembuatan *hardware* ini meliputi beberapa blok komponen, antara lain solenoid, dua *push button* dengan dua limit switch dan rangkaian *I/O module*. Instalasi rangkaian sistem isolasi *knife gate valve* ditampilkan pada Gambar.13.



Gambar.13 Wiring Diagram Sistem Kontrol

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Penggunaan *knife gate valve* pada sistem isolasi jalur batubara dinilai mampu mencegah timbulnya bahaya kebakaran. *Knife gate valve* dipilih karena memiliki keunggulan dapat digunakan untuk aliran material yang halus dengan *sealing system* yang baik. Keunggulan lain yang dimiliki *knife gate valve* adalah mampu tahan pada temperatur sampai 250°C.
2. Dari unjuk kerja simulasi kontrol yang dilakukan menunjukkan bahwa sistem bisa bekerja dengan baik. Saat *kiln* berhenti beroperasi akan mengaktifkan relay sehingga sistem dapat dijalankan dengan menekan tombol *close* dari *ccr* dan dengan menekan tombol *open*, *gate* akan bergerak dan kembali ke posisi semula. Dengan demikian keberadaan dari *knife gate valve* tidak mengganggu transportasi batubara ke *burner*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih di ucapkan kepada Bapak Sonki Prasetya, S.T, M.T., Bapak Awang D., karyawan dan kontraktor PT. Holcim Indonesia Tbk Pabrik Tuban atas kerja samanya di kegiatan ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. P. PT HOLCIM INDONESIA Tbk, "Flow Sheet "Coal Transportation", " 2012.
- [2] W. H. Duda, *Cement data book* 3 edition ed. Wiesbaden and Berlin: Bauverlag GmbH, 1985.
- [3] AEXOR, "ATEX Storage Audit Report Survey " 2012.
- [4] R. Wulandari, "Klasifikasi Hazardous Area dan Analisis Pemilihan Equipment Sesuai Standart ATEX dan IECEx " Bachelor Analisa Keselamatan dan Kesehatan Kerja Universitas Indonesia 2014.
- [5] M. A. R. A. Baab, "Efek Pemasangan Knife Gate Valve di Burner ", ed, 2018.
- [6] M. A. R. A. Baab, "Efek Pemasangan Knife Gate Valve Burner," ed, 2018.
- [7] G. P. GMBH, "Knife Gate Valve " in *AT200 Series* ed. Deutschland, 2018.
- [8] H. D. Baumann, *Control Valve Primer Fourth Edition*, 4 ed. 2009.
- [9] A. A. A. ST, "Perancangan Simulasi Sistem Pergerakan Dengan Pengontrolan Pneumatik Untuk Mesin Pengamplas Otomatis," Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya Indonesia 3, 2009.

Redesign Pondasi (Base) Mesin Blower dan Motor V94-BL2
Mochammad Sholeh¹; Teguh Eka Jaya²; Agung Gunawan³; Sutrisno⁴

¹Dept. Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Konsentrasi Rekayasa Industri Semen, Politeknik Negeri Jakarta

³Supervisor/Engineer Condition Base Monitoring, PT. Holcim Indonesia Tbk

⁴Member/Employee of Condition Base Monitoring, PT. Holcim Indonesia Tbk.

¹teguhekajaya11.holcim@gmail.com

Abstrak

Blower adalah alat transportasi material yang memanfaatkan udara bertekanan. Blower digerakkan oleh motor listrik dengan menggunakan transmisi pulley dan v-belt. Blower V94-BL2 berfungsi sebagai pengumpanan bahan bakar berupa biomass menuju Separate Line Calciner (SLC). Pada saat blower bekerja maka akan terjadi vibrasi, hal ini wajar karena selalu akan dialami oleh setiap mesin yang berputar, penyebabnya adalah gaya pengekstasi seperti torsi penggerak, gaya reaksi karena adanya beban, gaya tambahan akibat unbalance, misalignment, looseness. Vibrasi yang terjadi pada saat blower bekerja adalah 23 mm/s pada motor dan 13 mm/s pada blower, adapun batasan nilai vibrasi menurut ISO 2372(BS4675) mesin blower adalah 5 mm/s untuk motor dan blower adalah 6 mm/s. Vibrasi ini menyebabkan berkurangnya umur sambungan struktur diantaranya munculnya retakan pada sambungan las-lasan, umur bearing berkurang, kehandalan bearing berkurang, dan rusaknya bearing, hal tersebut dapat mengganggu dan mematikan proses pengumpanan bahan bakar pada Separate Line Calciner (SLC) yang dapat menghentikan proses pembakaran clinker pada rotary kiln. Untuk mengetahui penyebab pasti terjadinya vibrasi dilakukan analisa spectrum vibrasi, dan penyebabnya adalah looseness pada structural. Vibrasi yang tinggi dapat diatasi dengan merubah nilai natural frekuensi pada alat. Ada 3 cara merubah natural frekuensi yaitu merubah massa mesin/alat, penambahan penguat, dan penambahan peredam. Oleh sebab itu perlu dilakukan redesign untuk menurunkan nilai vibrasi. dengan menambahkan penguat berupa 2 baja channel C-Beam dengan ukuran 250 × 90 × 6 mm dan panjang 1520 mm yang diletakan pada base motor. Sementara untuk mengidentifikasi karakteristik fisik dan reaksi terhadap beban static disimulasikan dengan menggunakan program solidwork. Dari hasil redesign pondasi (base) blower V94-BL 2 diperoleh tegangan dan deformasi maksimal pada base sehingga base dapat menurunkan nilai vibrasi yaitu 5.5 mm/s dari 23 mm/s pada motor dan 7.0 mm/s dari 13 mm/s pada blower.

Kata Kunci: Vibrasi, Looseness, Motor, Redesign, Base

Abstract

Blowers are material transportation vehicles that utilize compressed air. The blower is driven by an electric motor using a transmission pulley and a v-belt. Blower V94-BL2 serves as a fuel feed in the form of biomass to Separate Line Calciner (SLC). At the time of the blower work will occur vibration, this is natural because it will always be experienced by each rotating engine, the cause is the exciting force such as driving torque, reaction force due to the load, additional force due to unbalance, misalignment, looseness. Vibrasi that happened at the working blower is 23 mm / s on the motor and 13 mm / s on the blower, as for the limit of vibration value according to ISO 2372 (BS4675) blower machine is 5 mm / s for the motor and blower is 6 mm / s. This vibration leads to reduced connection time of the structure such as the occurrence of cracks in welded joints, reduced bearing life, reduced bearing reliability, and bearing damage, may disrupt and disable fuel fueling process on Separate Line Calciner (SLC) clinker on the rotary kiln. To know the exact cause of vibration, vibration spectrum analysis is done, and the cause is looseness on structural. High vibration can be overcome by changing the natural value of frequency in the tool. There are 3 ways to change the natural frequency that is changing the mass of the machine / tool, the addition of the amplifier, and the addition of the silencer. Therefore it is necessary to redesign to reduce the value of vibration. by adding brace of 2 steel channel C-Beam with the size of 250 × 90 × 6 mm and length 1520 mm placed on the base of the motor. Meanwhile, to identify physical characteristics and reaction to static load simulated by using solidwork program. From the redesign foundation (base) blower V94-BL 2 obtained the maximum voltage and deformation on the base so that the base can reduce the vibration value of 5.5 mm / s from 23 mm / s on the motor and 7.0 mm / s from 13 mm / s on the blower.

Keywords: Vibration, Looseness, Motor, Redesign, Base

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Blower V94-BL2 adalah alat transportasi bahan bakar alternative berupa sekam padi, blower mentransportasikan sekam padi menuju Separate Line Calciner (SLC) sebagai tempat proses kalsinasi. Pada saat *blower* V94-BL 2 bekerja maka akan timbul vibrasi yang tinggi. Kecepatan *blower* V94-BL 2 dikontrol oleh *Variabel Speed Drive (VSD)*. Vibrasi pada suatu alat akan mempengaruhi kehandalan dari alat tersebut. Nilai vibrasi yang diizinkan yang sesuai dengan ISO 2372 (BS4675) pada *blower* maksimal 6 mm/s, sedangkan pada V94-BL2 nilai vibrasi tertinggi adalah 23 mm/s pada motor dan 13 mm/s pada *blower*[3]. Vibrasi selalu dialami oleh mesin yang berputar, penyebabnya adalah gaya pengekstiasi seperti torsi penggerak, gaya reaksi karena adanya beban, gaya tambahan akibat unbalance, *misalignment*, *looseness*. *Unbalance* adalah terjadinya pergeseran titik pusat massa dari titik pusat putarnya sehingga akan menimbulkan getaran yang tinggi. *Misalignment* adalah tidak sejajarnya poros/*Pulley* penggerak dengan poros/*Pulley* yang digerakkan. *Looseness* disebabkan oleh kerenggangan pada suatu mesin yang terjadi karena adanya kerenggangan baut, kerenggangan bearing, keretakan di pondasi, kerenggangan antara rotor dengan poros, dan sebagainya. Pada motor listrik, kerenggangan dapat terjadi pada rotor atau stator.

Berdasarkan hasil analisa spektrum vibrasi, penyebab vibrasi pada V94-BL2 adalah *looseness* pada *base* dan Umpan beban biomasa yang tinggi disertai kecepatan yang tinggi pula. Oleh karena itu perlu dilakukan re-desain *base* agar nilai vibrasi menurun dan keandalan dari mesin *blower* dan motor terjaga.

1.2 Tujuan

Tujuan dari *redesign base motor* dan *blower* V94-BL2 ini adalah menurunkan nilai vibrasi pada motor dan vibrasi pada *blower*

2. METODE PENELITIAN

1. Metode Diskusi, yakni melakukan diskusi dengan pihak-pihak terkait mengenai permasalahan tersebut. Pihak terkait yaitu karyawan dan *superintendent* CBM, karyawan dan *superintendent* mekanik AFR, Engineer maintenance.
 2. Metode kepustakaan / studi literature, mencari dan mempelajari informasi tentang vibrasi, kekuatan las-lasan, pelenturan pada *C-beam*, dan pemilihan profil *C-beam*, dengan melihat dari sumber buku, jurnal, dan internet.
 3. Metode observasi, yakni melakukan observasi mengenai kinerja system alat serta parameter yang mempengaruhi. Observasi yang dilakukan adalah pengamatan kondisi awal *base blower* V94-BL2.
- a. Kondisi awal *base*

Base mesin *blower* V94-BL2 terdiri dari *C-beam* baja ukuran 250 x 90 x 10 mm dan disambung dengan menggunakan sambungan las. *Base blower* V94-BL2 memiliki dimensi tinggi 1000 mm ; lebar 1700 mm ; dan panjang 2780 mm. *base blower* V94-BL2 memiliki 6 tiang penyangga.



Gambar 1 Kondisi awal *base* V94-BL2

b. Pengambilan data vibrasi

Pengambilan data vibrasi dilakukan seminggu sekali sesuai dengan *Work Order (WO)* pada sistem SAP dan *Planner*.

Tabel 1 Data Vibrasi pada motor posisi *load side horizontal*

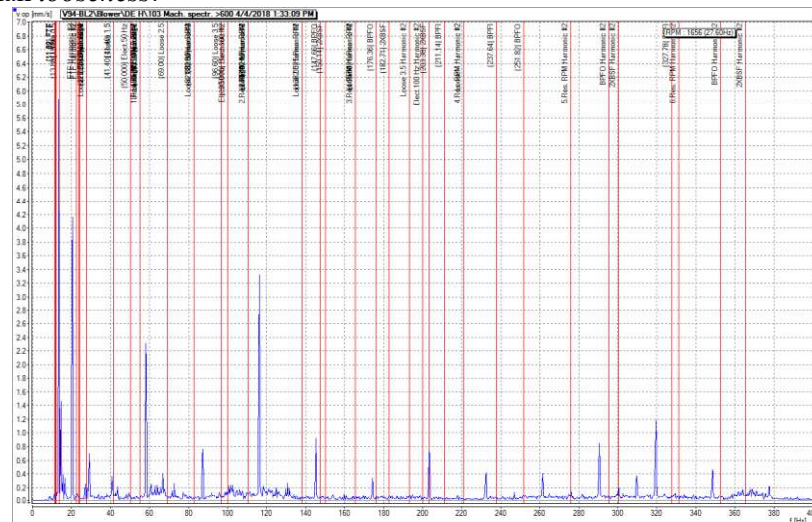
Date	Time	Zero-Peak	Peak-Peak	RMS
10/4/2017	10:44:21 AM	31.50 mm/s	62.57 mm/s	16.34 mm/s
10/18/2017	1:31:09 PM	30.49 mm/s	60.09 mm/s	15.62 mm/s
10/25/2017	1:24:18 PM	31.63 mm/s	61.67 mm/s	15.85 mm/s
11/1/2017	2:23:40 PM	25.53 mm/s	48.41 mm/s	13.12 mm/s
11/17/2017	10:23:52 AM	41.57 mm/s	81.41 mm/s	23.49 mm/s

Tabel 2 Data Vibrasi pada *Blower* posisi *Drive end horizontal*

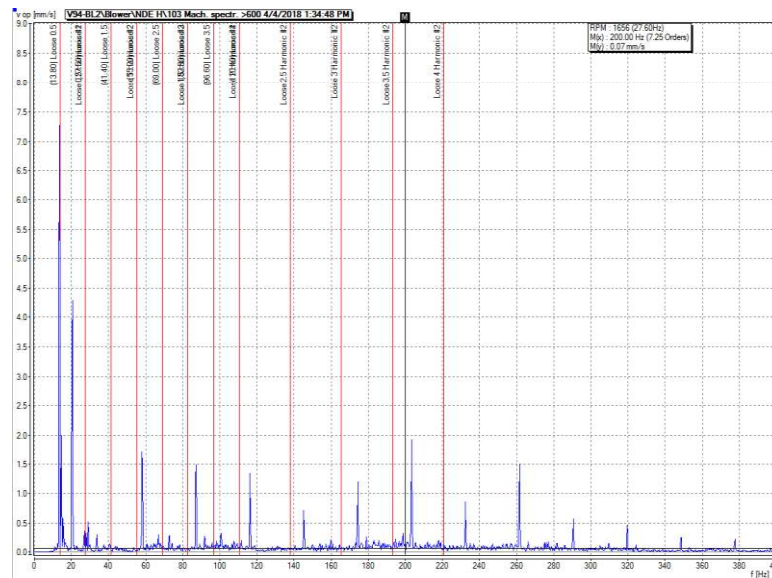
Date	Time	Zero-Peak	Peak-Peak	RMS
10/4/2017	10:46:23 AM	25.04 mm/s	49.08 mm/s	9.04 mm/s
10/18/2017	1:33:07 PM	26.41 mm/s	50.96 mm/s	8.83 mm/s
10/25/2017	1:26:37 PM	25.88 mm/s	48.88 mm/s	9.24 mm/s
11/1/2017	2:25:31 PM	24.73 mm/s	47.23 mm/s	7.77 mm/s
11/17/2017	10:26:54 AM	29.84 mm/s	56.91 mm/s	12.73 mm/s

c. Pengambilan data spektrum vibrasi

Pengambilan spektrum vibrasi dilakukan untuk mengetahui penyebab terjadinya vibrasi. Pada “Gambar.2” menunjukkan spectrum vibrasi pada *blower* posisi *drive end (DE)* yang mengindikasikan *looseness*, begitu juga pada “Gambar.3” menunjukkan spectrum vibrasi pada motor posisi *load side* yang mengindikasikan *looseness*.



Gambar 2 Spektrum vibrasi *Blower* posisi *drive end* terindikasi *looseness*



Gambar 3 Spektrum Vibrasi Blower non drive end terindikasi looseness

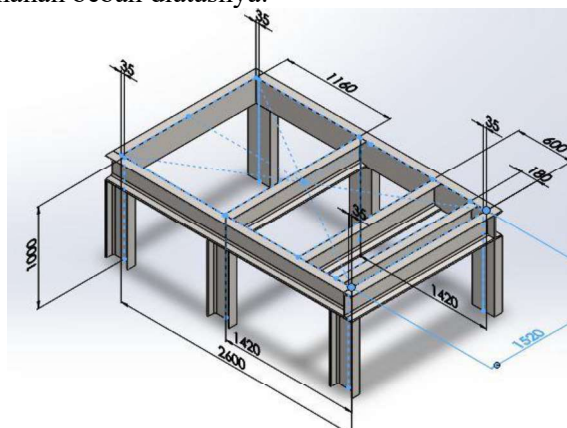
4. Metode Perancangan/Rekayasa, perancangan/rekayasa dengan mengacu pada parameter yang mempengaruhi, acuan perancangan dari *manual book* dan diskusi dengan pembimbing.
5. Metode Pengujian dan Realisasi melakukan pengujian desain dengan menggunakan program Solidwork 3D dan Realisasi dengan memantau vibrasi setelah dilakukan *redesign*.
6. Evaluasi, mengevaluasi kinerja alat tugas akhir setelah realisasi mengacu dengan metode perancangan/rekayasa dan memastikan bahwa nilai vibrasinya telah menurun.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

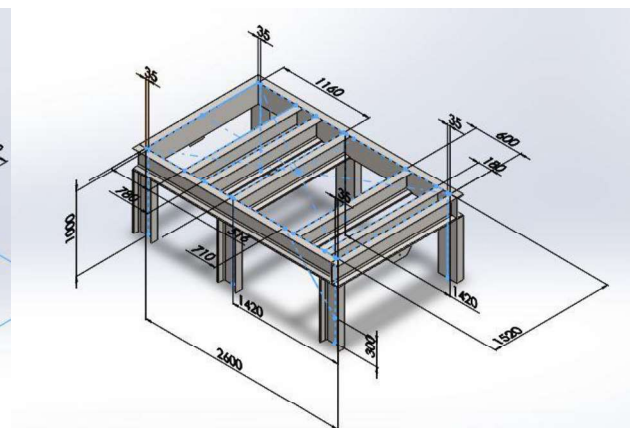
Berdasarkan hasil pengamatan didapat penyebab terjadinya vibrasi adalah *looseness* pada struktural, hal tersebut dikarenakan jarak *base* pada sisi motor yaitu 1250 mm sehingga mengakibatkan munculnya vibrasi karena *base* tidak mampu menahan beban motor pada saat pengoperasian. Oleh karena itu perlu dipasang penguat diantara *base* motor tersebut.

1. Desain *base* dengan penambahan penguat

“Gambar.4” adalah desain *base* dengan penambahan penguat pada sisi motor dengan menambahkan 2 buah *C-beam*. Sedangkan “Gambar.5” adalah desain *base* awal sebelum ditambahkan penguat yang menyebabkan kenaikan nilai vibrasi dikarenakan tidak kuatnya *base* menahan beban di atasnya.



Gambar 4 Bentuk base semula



Gambar 5 Bentuk base redesign

2. Pemilihan profil sebagai penguat

“Gambar.6” adalah penguat yang dipasang di sisi motor dengan beban motor sebesar 13125.78 N, Pemilihan profil dihitung dengan “Persamaan.1”.

$$\sigma_b = \frac{Mb}{W_b} [1] \quad \text{[Persamaan 1]}$$

$$\sigma_b = \text{tegangan bending} \left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right)$$

$$Mb = \text{Momen Bending (Nm)}$$

$$W_b = \text{Momen tahanan bending (mm}^3\text{)}$$

Momen bending dihitung dengan persamaan 2.

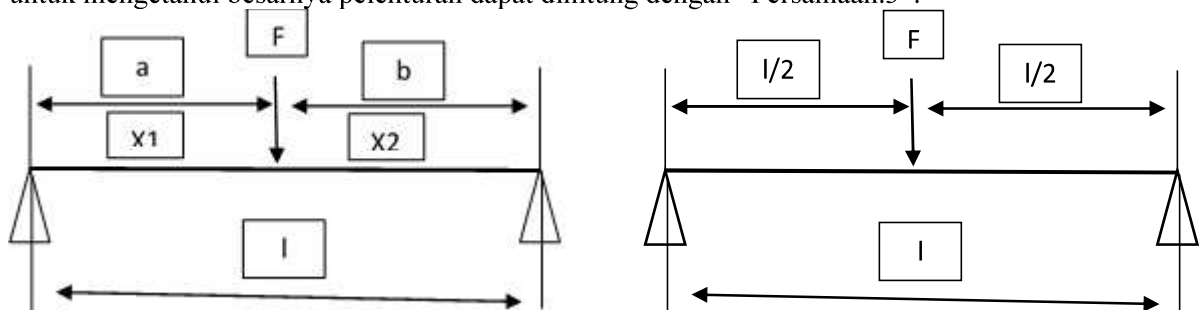
$$\Sigma M = \frac{F l}{12} [2] \quad \text{[Persamaan 2]}$$

$$F = \text{Gaya yang bekerja (N)}$$

$$l = \text{panjang (m)}$$

3. Perhitungan pelenturan profil

untuk mengetahui besarnya pelenturan dapat dihitung dengan “Persamaan.3”.



Gambar 6 Sketsa perhitungan pelenturan

Untuk $0 < x_1 < a$;

$$y = \frac{F b x (l^2 - b^2 - x^2)}{6 E I l}$$

$$x = \frac{l}{2}$$

$$y = \frac{F \frac{l}{2} \frac{l}{2} (l^2 - \frac{l^2}{2^2} - \frac{l^2}{2^2})}{6 E I l}$$

$$y = \frac{F \frac{l^2}{4} (l^2 - \frac{2l^2}{4})}{6 E I l}$$

$$y = \frac{F \frac{l^2}{4} (\frac{2l^2}{4})}{6 E I l}$$

$$y = \frac{F l^3}{24 E I} [4] \quad \text{[Persamaan 3]}$$

$$y = \frac{F l^3}{24 E I}$$

Dimana :

y = Pelenturan (mm)

F = Beban dari motor (N)

l = Panjang Cbeam (mm) = 1520 mm

E = Modulus elastisitas $\left(\frac{N}{\text{mm}^2} \right) = 210000 \text{ N/mm}^2$

I = Momen Inersia (mm⁴) = 3170000 mm⁴

Untuk mencari pelenturan profil maka harus diketahui terlebih dahulu gaya yang bekerja melalui “Persamaan.4”.

$$F = m g$$

$$F = 1338 \times 9.81 = 13125.78 \text{ N}$$

$$y = \frac{F l^3}{24 E I}$$

$$y = \frac{13125.78 \times 1520^3}{24 \times 210000 \times 3170000}$$

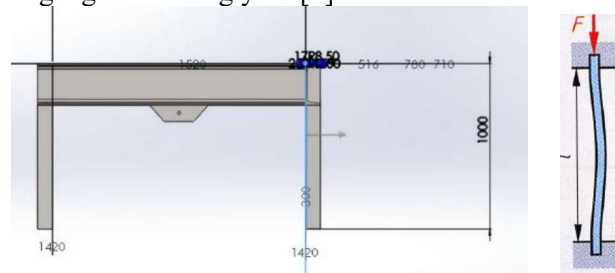
$$y = 2.885134646 \text{ mm}$$

[Persamaan 4][2]

Berdasarkan hasil perhitungan pelenturan didapat nilai pelenturannya adalah 2.885134646 mm.

4. Pemeriksaan terhadap beban *buckling*

Tegangan yang terjadi pada tiang/ pilar penyangga adalah tegangan *buckling*. Tegangan *buckling* terjadi karena adanya gaya berat dari motor dan *blower* yang di tumpu oleh 6 tiang penyangga. Untuk mencari nilai dari tegangan buckling yaitu[2].



Gambar 7 Bagian yang mengalami buckling

$$F = \frac{W_b + W_m}{6}$$

[Persamaan 5]

Dimana :

F = Beban gabungan motor dan blower (N)

W_b = Beban blower (N) = 18148 N

W_m = Beban motor (N) = 13125.78 N

6 adalah jumlah tiang penyangga

$$F = \frac{18148 + 13125.78}{6} = 5212.25 \text{ N}$$

Setelah mengetahui nilai pembebanan yang bekerja, selanjutnya diperiksa dengan pembebanan *buckling*, dapat dihitung dengan persamaan [2]

$$F_{bu} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{s^2 \times v} [2]$$

[Persamaan 6]

Dimana :

F_{bu} = Gaya buckling yang diizinkan (N)

E = Modulus elastisitas $\left(\frac{N}{mm^2}\right) = 210000 \frac{N}{mm^2}$

I = Momen Inersia (mm^4) = 3170000 mm^4

s = free buckling length (mm)

v = Safety faktor = 4 (beban dinamis)

Nilai dari Free Buckling length dihitung berdasarkan penahan beam, s dengan load case nomor IV dapat dihitung dengan persamaan[2]

$$s = 0.5 l$$

[Persamaan 7]

$$s = 0.5 \times 1000 = 500 \text{ mm}[2]$$

Setelah mendapat free buckling length maka dapat menghitung pembebanan *buckling* dengan persamaan

$$F_{bu} = \frac{\pi^2 \times E \times I}{s^2 \times v}$$

[Persamaan 6]

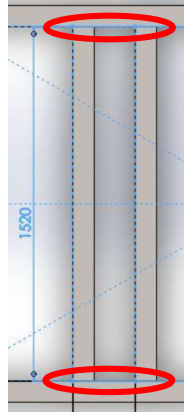
$$F_{bu} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 3170000}{500^2 \times 4}$$

$$F_{bu} = 42236.875 \text{ N}$$

Berdasarkan perhitungan pemeriksaan terhadap beban *buckling* didapatkan bahwa gaya *buckling* yang diizinkan lebih besar daripada beban gabungan motor dan *blower*, hal itu menunjukkan bahwa *base* aman terhadap *buckling*.

5. Perhitungan ukuran lasan

ukuran lasan dengan sambungan *butt joint* dihitung berdasarkan tegangan geser maksimum.



Gambar 8 Bagian Las-lasan yang diperhitungkan

Elektroda las yang digunakan tipe RD718, elektroda tipe tersebut memiliki kekuatan Tarik sebesar 50 Kg/mm²

$$\sigma_t \text{ kawat Electroda 718} = 50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} = 490.332 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Poisson ratio untuk iron manganese carbon (μ) = 0.31

$$Wm \text{ (Berat motor)} = 13125.78 \text{ N}$$

$$\tau_g = \frac{m}{m+1} \times \sigma_t [1]$$

[Persamaan 8]

$$m = \frac{1}{\mu} [1]$$

[Persamaan 9]

$$m = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{0.31} = 3.225$$

nilai tegangan geser las-lasan :

$$\tau_g = \frac{m}{m+1} \times \sigma_t = \frac{3.225}{3.225+1} \times 490.332 = 374.277 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

tebal las-lasan :

$$\tau_g = \frac{F}{A} [2]$$

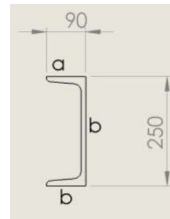
[Persamaan 10]

$$\tau_g = \text{tegangan geser} \left(\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$F = Wm = \text{Berat Motor (N)}$$

$$A = \text{Luasan las - lasan (mm}^2\text{)}$$

Luasan lasan dihitung berdasarkan bentuk profil yang dilas, bentuk profil yang dilas adalah baja channel C beam seperti ditunjukkan “Gambar.9”.



Gambar 9 Profil channel C beam

dimana $A = (a + b + a) \times t$ [1]

[Persamaan 11]

Jadi ;

$$\tau_g = \frac{F}{A}$$

$$\tau_g = \frac{Wm}{(a + b + a) \times t} =$$

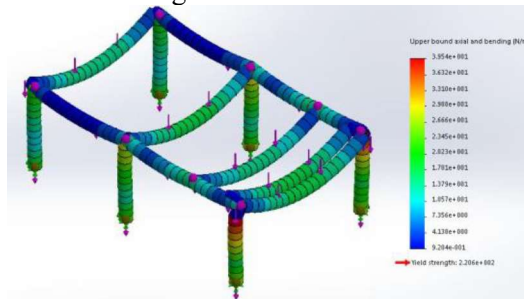
$$374.277 = \frac{13125.78}{(90 + 250 + 90) \times t}$$

$$t = \frac{13125.78}{374.277 \times 430} = \frac{13125.78}{160939.11} = 0.0815 \text{ mm}$$

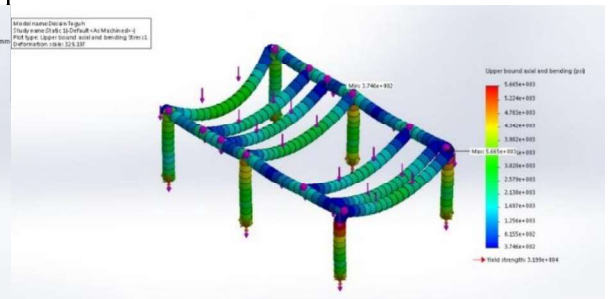
Oleh karena tebal Cbeam adalah 10 mm berdasarkan *textbook machine design Khurmi* maka ketebalan las-lasan minimum adalah 6 mm

6. Hasil analisa kekuatan dengan perhitungan simulasi software solidwork

Hasil yang diperoleh dari analisa statik menggunakan *software solidworks* pada struktur *base* dengan diberi beban 31273.78 N sesuai dengan berat *blower* dan motor seperti “Gambar.9” berikut.



Gambar 10 Tegangan bengkok yang terjadi pada *base* sebelum *redesign*

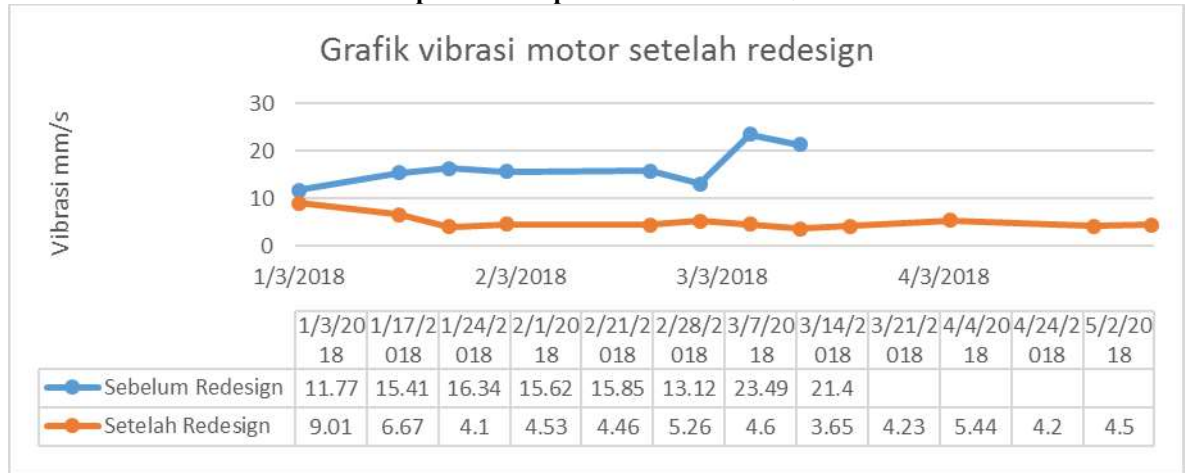


Gambar 11 Tegangan bengkok yang terjadi pada *base* setelah *redesign*

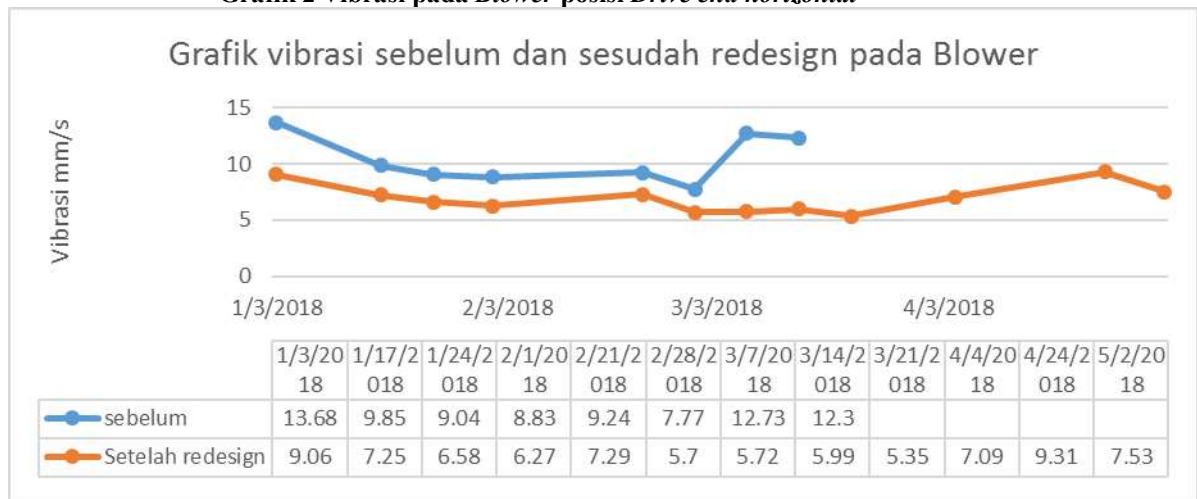
Hasil dari simulasi menunjukkan tegangan bending yang terjadi adalah 2.583 N/mm² dan tegangan maksimumnya adalah 39 N/mm², berdasarkan dengan tegangan bending material *mild steel* yang digunakan adalah 330 N/mm² maka tegangan bending material lebih besar daripada tegangan bending yang terjadi. Oleh sebab itu *base* motor dan *blower* V94-BL2 aman.

7. Nilai vibrasi setelah dilakukan *redesign*

Grafik 1 Vibrasi pada *Motor* posisi *Load Side horizontal*



Grafik 2 Vibrasi pada *Blower* posisi *Drive end horizontal*



“Grafik.1” menunjukkan nilai vibrasi pada motor posisi *load side* berdasarkan pengambilan data terakhir yaitu pada tanggal 2 Mei 2018, dari data tersebut dapat dilihat bahwa terjadi penurunan nilai vibrasi setelah dilakukan *redesign*, yaitu dari 23.49 mm/s menjadi 4.50 mm/s. “Grafik.2” menunjukkan nilai vibrasi pada *blower* posisi *Drive End* berdasarkan pengambilan data terakhir yaitu pada tanggal 2 Mei 2018, dari data tersebut juga terjadi penurunan nilai vibrasi, yaitu dari 12.73 mm/s berdasarkan tabel.2 menjadi 7.53 mm/s.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian didapat bahwa terjadi penurunan vibrasi setelah dilakukan *redesign* dari 23.49 mm/s pada motor menjadi 4.50 mm/s dan 12.73 mm/s menjadi 7.53 mm/s sehingga tidak menyebabkan berkurangnya umur sambungan struktur diantaranya munculnya retakan pada sambungan lasan, umur bearing berkurang, dan rusaknya bearing.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada :

1. PT. Holcim Indonesia Tbk. Yang telah menyediakan fasilitas selama pengerjaan tugas akhir.
2. Bapak Mochammad Sholeh, bapak Sutrisno, dan bapak Agung Gunawan, pembimbing tugas akhir Politeknik Negeri Jakarta dan PT. Holcim Indonesia Tbk.
3. Rekan – rekan EVE 11 yang telah memberikan dukungan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Design*. New Delhi: Eurasia publishing house (PVT.) LTD, 2005.
- [2] U. Fischer, M. Heinzler, F. Naher, and H. Paetzold, *Mechanical and Metal Trade Handbook*. Germany: VERLAG EUROPA LEHRMITTEL, 2006.
- [3] *Mechanical Vibration of Machines with Operating Speeds from 10 to 200 rev/sec.– Basis for Specifying Evaluation Standards, ISO 2372, 1974.*
- [4] Nash. William and Potter. Merle C. *Stength of Materials Fifth Edition*.2011

**MODIFIKASI EJECTOR PNEUMATIC CONVEYOR V92-RF1
PT. HOLCIM INDONESIA Tbk PABRIK CILACAP**

Ade Abdul Muhyi¹; Sidiq Ruswanto²

¹Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta,

²Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta,

adeabdulmuhyi.holcim@gmail.com

Abstrak

PT Holcim Indonesia Pabrik Cilacap memiliki beberapa peralatan dalam proses produksi yaitu Raw Mill, Kiln, Finish Mill, dan Coal Mill. Pabrik beroperasi selama 24 jam. Berbeda dengan peralatan lain, Kiln terus bekerja selama pabrik beroperasi. Kiln tidak bekerja hanya jika dijadwalkan untuk berhenti. Pengoperasian Kiln sangat bergantung pada ketersediaan bahan bakar. Bahan bakar utama Kiln adalah batu bara. Batu bara merupakan bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui dan harganya mahal. Oleh sebab itu, PT Holcim Indonesia menggunakan rice husk sebagai alternatif fuel & raw material (AFR).

Rice Husk merupakan alternatif fuel & raw material (AFR) yang digunakan dalam proses pembakaran di kalsiner. Sebelum di modifikasi kemampuan transportasi rice husk ke lantai 5 preheater <5 ton per jam dan sering terjadi material plug/blocking. Untuk itu ejector dimodifikasi agar tidak ada lagi material blocking dan feed material rice husk dapat meningkat. Urutan metode Pelaksanaan Modifikasi yaitu pertama menyiapkan semua kebutuhan untuk proses modifikasi, mekanisme kerja alat, menentukan material, perhitungan kekuatan, menentukan ukuran, menyiapkan gambar kerja, pembuatan, assembling, Evaluasi. Modifikasi yang dilakukan yaitu dengan memodifikasi sudut curah material pada ejector.

Berdasarkan evaluasi menyimpulkan bahwa diperlukan adanya modifikasi sudut curah material pada ejector agar terjadi peningkatan pressure dan tidak terjadi material plug. Setelah memodifikasi sudut curah material pada ejector tidak ada lagi material plug pada ejector yang berimbas dengan menurunnya biaya perawatan alat tersebut dan setelah di modifikasi terjadi peningkatan kecepatan udara sebesar 41% sehingga feed material juga ikut meningkat. Dengan meningkatnya konsumsi rice husk dalam pembakaran maka menurunkan konsumsi batu bara yang menyebabkan menurunnya cost produksi.

Kata kunci : Rice husk, kemampuan, meningkat, modifikasi, ejector.

Abstract

PT Holcim Indonesia Cilacap plant has several equipments in production process that are Raw Mill, Kiln, Finish Mill, and Coal Mill. The factory operates for 24 hours. In contrast to other equipment, Kiln continues to work as long as the plant operates. Kiln does not work only if it is scheduled to stop. Kiln operation is heavily dependent on fuel availability. Kiln's main fuel is coal. Coal is a fuel that can not be renewed and expensive. Therefore, PT Holcim Indonesia uses rice husk as an alternative fuel & raw material (AFR).

Rice Husk is an alternative fuel & raw material (AFR) used in combustion process in kalsiner. Before the modification of the ability of rice husk transportation to the 5th floor of preheater <5 tons per hour and often the material of plug / blocking. For that ejector is modified so that no more blocking material and feed husk rice husk material can increase. The order of the Implementation of Modification method is to first prepare all the needs for the modification process, the mechanism of the tool work, determine the material, calculate the strength, determine the size, prepare the drawing work, manufacture, assembling, Evaluation. Modification is done by modifying the bulk sudut material on ejector.

Based on the evaluation, it is concluded that there is a need for modification of bulk material angle at ejector in order to increase pressure and no material plug. After modifying the bulk corners of the material on the ejector there is no more material plug on the ejector which impacts the decrease in maintenance costs of the equipment and after the modification occurs an increase in air speed by 41% so that the material feed also increases. With the increased consumption of rice husk in combustion then decrease the consumption of coal causing the decrease of production cost.

Keywords: Rice husk, ability, increase, modification, ejector.

I. PENDAHULUAN

Pneumatic conveyor atau *conveyor* udara berfungsi untuk memindahkan bahan curah (*bulk load*) di dalam suatu aliran udara yang bergerak melalui pipa (David Mills, “*Pneumatic Conveying Design Guide Second Edition*”, 2004). Di PT Holcim Indonesia pabrik cilacap material yang di transportasi yaitu *rice husk*. Material *rice husk* di transportasi dari *rice husk stockpile* ke kalsiner yang berada di *preheater* lantai 5 menggunakan *pneumatic conveyor* V92-RF1.

PT Holcim Indonesia Pabrik Cilacap memiliki beberapa peralatan dalam proses produksi yaitu *Raw Mill*, *Kiln*, *Finish Mill*, dan *Coal Mill*. Pabrik beroperasi selama 24 jam. Berbeda dengan peralatan lain, *Kiln* terus bekerja selama pabrik beroperasi. *Kiln* tidak bekerja hanya jika dijadwalkan untuk berhenti. Pengoperasian *Kiln* sangat bergantung pada ketersediaan bahan bakar. Bahan bakar utama *Kiln* adalah batu bara. Batu bara merupakan bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui dan harganya mahal. Oleh sebab itu, PT Holcim Indonesia menggunakan *rice husk* sebagai *alternatif fuel & raw material (AFR)*.

Rice husk memiliki komposisi karbon di atas 30% sehingga *rice husk* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pada industri kimia, bahan baku pada industri bangunan, dan juga sumber energi panas (Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian). *Rice husk* sebagai bahan bakar tambahan akan diletakkan di kalsiner yang terdapat di *preheater*.

Diharapkan dengan menggunakan bahan bakar alternatif ini dapat menghasilkan energi yang dapat memenuhi segala kebutuhan pada proses pembakaran yang terjadi di kalsiner dan PT. Holcim Indonesia Tbk, dapat mengurangi ketergantungan pada energi tak terbarukan, mengurangi emisi serta dapat menekan biaya yang dibutuhkan dalam hal penyediaan bahan bakar sehingga mendatangkan keuntungan bagi perusahaan.

Untuk meningkatkan produksi maka suhu *kiln* harus tetap terjaga. Oleh sebab itu, umpan material bahan bakar (*rice husk*) harus meningkat dan pengumpanan material nya harus baik. V92-RF1 merupakan alat transportasi *rice husk* dari *rice husk stockpile* ke *preheater* lantai 5, dengan sistem kerja semburan udara *blower* pada *ejector*, kemudian disalurkan melalui *piping duct*. Pada saat ini umpan material sebesar <5 ton per jam, sedangkan produksi meminta umpan material sebesar 10 ton per jam. Kemudian sering terjadi *material plug* pada *ejector* dikarenakan semburan udara kurang maksimal. Untuk meningkatkan umpan material / ton per jam material *rice husk*, maka *ejector* V92-RF1 dimodifikasi untuk meningkatkan kecepatan udara.



Gambar 1 Ejector V92-RF1

Rice Husk merupakan *alternatif fuel & raw material (AFR)* yang digunakan dalam proses pembakaran di kalsiner. Transportasi *rice husk* yaitu menggunakan *pneumatic conveyor* V92-RF1. Kemampuan transportasi *rice husk* dari *stockpile* ke lantai 5 *preheater* <5 ton per jam dan sering terjadi *material plug/blocking*. Untuk itu PT. Holcim Indonesia Tbk ingin adanya peningkatan umpan material/ton per jam

material *rice husk*, tidak ada lagi material *plug* / material *blocking* di *ejector*, dan meningkatnya kecepatan udara pada *ejector*. Tujuan dalam tugas akhir ini adalah memodifikasi *ejector* V92-RF1.

II. METODE PENELITIAN

1. Mencari dan Mempelajari Informasi dari *Supervisor*

Melakukan diskusi mengenai kondisi dan situasi di lapangan tentang apapun yang berhubungan dengan *AFR* dan *Ejector V92-RF1*.

2. Melakukan Pengamatan dan Studi Lapangan

Setelah mendapatkan informasi dari *supervisor*, maka dilakukan pengamatan langsung ke lapangan untuk melakukan pengamatan kontruksi dari komponen *mechanical Ejector V92-RF1*. Pengamatan yang dilakukan adalah:

a. Apa yang menyebabkan feed material *rice husk* rendah?

b. Apakah kontruksi dari *Ejector V92-RF1* bisa dimodifikasi agar feed material *rice husk* bisa meningkat?

3. Mendiskusikan Masalah dan Melakukan Rekondisi

Pada saat melakukan modifikasi maupun menulis laporan, disitulah muncul beberapa hal yang membuat bingung dan membutuhkan diskusi kembali dengan pembimbing lapangan maupun dosen, karena terkadang apa yang diperkirakan benar belum tentu sesuai dengan keinginan *supervisor* ataupun aturan penulisan yang lebih diketahui oleh dosen. Disamping itu juga dilakukan rancangan ulang atau penggambaran dari *Ejector V92-RF1* untuk dilakukan. Dilakukan juga kegiatan fabrikasi dan pelaksanaan modifikasi di lapangan bersama *mechanical team* area terkait.

Berikut adalah tahapan yang dilakukan dalam kegiatan modifikasi di tugas akhir ini:

Pengambilan data

Pengambilan data adalah tahapan pertama yang dilakukan, pada tahap ini dilakukan serangkaian kegiatan guna mencari informasi baik dengan sumber data kualitatif atau kuantitatif yang didapatkan dari *manual book*, laporan kerja, bahkan dari lapangan secara langsung. Secara garis besar yang dominan dilakukan pada tahap ini adalah pengambilan data tentang kelayakan alat dan desain dari kontruksi *Ejector V92-RF1* sebelum direkondisi. Desain tersebut sudah ada di *manual book*, maka dalam tahap ini hanya mengecek tiap alat yang perlu dimodifikasi dan melakukan penggambaran desain *Ejector V92-RF1*. Data ini harus bersifat *valid* supaya tidak menemui masalah saat kegiatan, fabrikasi, serta instalasi dilapangan.

Desain dan Penggambaran

Pada tahapan ini dilakukan kegiatan analisis dari desain kontruksi *Ejector V92-RF1* sebelum modifikasi. Selain analisis, dilakukan juga kegiatan perancangan untuk mendesain kontruksi *Ejector V92-RF1* untuk dituangkan didalam gambar. Penggambaran dilakukan menggunakan *software Autocad* dua dimensi. Karena *software* ini adalah *software* resmi yang digunakan oleh perusahaan dalam mendesain dan merancang. Selain desain dan penggambaran juga melakukan analisis dan perhitungan material serta biaya yang digunakan. Dari serangkaian yang ada pada tahapan ini sangat menentukan suksesnya kegiatan modifikasi.

Persiapan Material dan Fabrikasi

Fabrikasi dilakukan setelah kegiatan desain dan penggambaran selesai dan mendapatkan persetujuan dari *mechanical head* serta *maintenance manager*. Setelah mendapatkan persetujuan, maka tahapan selanjutnya adalah menyiapkan seluruh material yang diperlukan. Teknik yang digunakan dalam kegiatan ini sama dengan fabrikasi manual pada umumnya.

Instalasi Lapangan

Instalasi yang dimaksud adalah kegiatan pemasangan *part* hasil fabrikasi pada *Ejector V92-RF1*. *Part* hasil modifikasi menggantikan *part* dari kontruksi yang lama. Kegiatan instalasi dilakukan bersama *mechanical team area raw mill*. Pada tahapan ini yang utama dilakukan adalah *supervisi* dan *quality check* yang untuk melakukan pengawasan, pengarahan kerja, serta pengecekan hasil akhir.

4. Melakukan Evaluasi

Setelah selesai memodifikasi *Ejector* di lapangan, tugas selanjutnya adalah melakukan evaluasi pada hasil dari modifikasi tersebut apakah sudah sesuai dengan harapan ataupun masih perlu diperbaiki/ditambahkan beberapa untuk menyempurnakan hasil modifikasi. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis kerja *pneumatic conveyor* dan peralatan lain yang saling berhubungan.

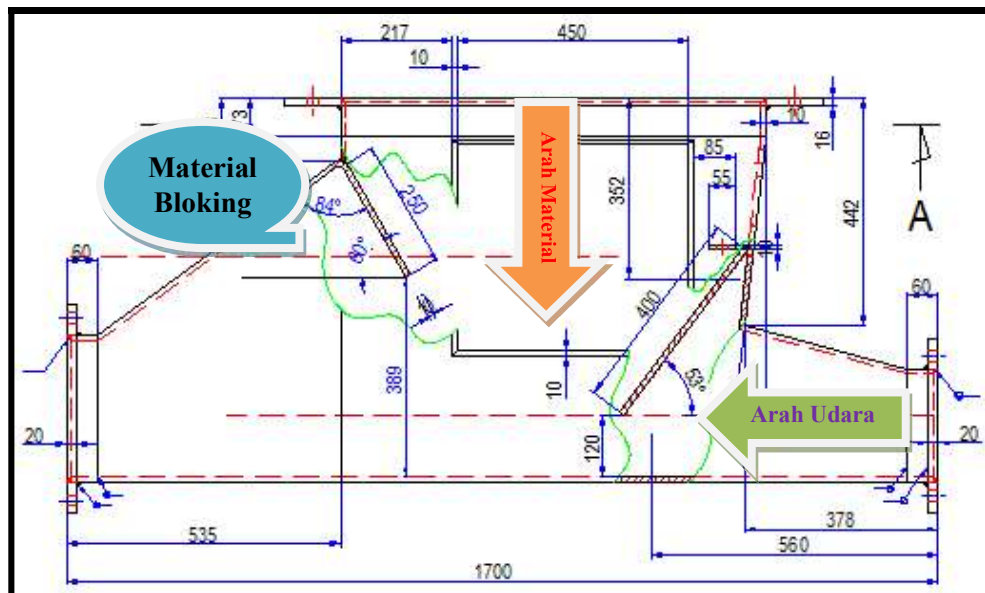
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Mengidentifikasi Penyebab Blocking Pada Ejector dan Feed Material Rendah

Blocking adalah suatu penyempitan area yang terjadi pada suatu sistem yang berfungsi mengalirkan material baik padat, gas maupun cair yang menyebabkan aliran terhambat atau bahkan berhenti secara total. Pada *ejector*, *blocking* menyebabkan *flow* udara menjadi turun yang berakibat aliran material menjadi tidak lancar. Pada persamaan *flow* dijelaskan bahwa besarnya nilai *flow* terpengaruh pada luasan area dan kecepatan aliran udara. Dalam hal ini bisa disimpulkan bahwa *blocking* dan *feed* material rendah yang terjadi pada *ejector* V92-RF1 terjadi karena:

- a. Sudut curah material pada *ejector* yang kurang maksimal.

Dari kedua akar masalah diatas, untuk meningkatkan performa dari *ejector* V92-RF1 perlu untuk memecahkannya agar *flow* udara dapat meningkat dan *blocking* dapat dihindarkan. Dari akar masalah tersebut dapat dikuatkan dengan ilustrasi yang menjelaskan kondisi aktual dari konstruksi *ejector* V92-RF1 yang dijelaskan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2 Layout *Ejector* Sebelum Modifikasi

Pada gambar konstruksi *ejector* tersebut dijelaskan bahwa sudut curah material kurang maksimal. Dalam hal ini besar kemungkinan penurunan *flow* disebabkan oleh bagian ini. Sehingga aliran udara mendorong material ke arah yang salah yang menyebabkan *material plug/blocking*.

2. Menentukan Kekuatan Las (Yefri Chan, ST, MT, “Elemen Mesin Las”).

$$\begin{aligned} \text{Data} &: P = 42,2 \text{ kN/m}^2 \\ &A = 0,05 \text{ m}^2 \\ &F = P \times A \\ &= 42,2 \times 0,05 \\ &= 2,11 \text{ kN} \\ &= 2110 \text{ N} \\ &L_1 = 421 \text{ mm} \\ &L_2 = 346 \text{ mm} \\ &t = 8 \end{aligned}$$

$$\sigma_t = ?$$

$$F = 2 \frac{L_1 \times t}{\sqrt{2}} \sigma_t + 2 \frac{L_2 \times t}{\sqrt{2}} \sigma_t g$$

$$2110 = 2 \frac{421 \times 8}{\sqrt{2}} \sigma_t + 2 \frac{346 \times 8}{\sqrt{2}} 0,57 \sigma_t$$

$$2110 = 4763,79 \sigma_t + 2231,63 \sigma_t$$

$$2110 = 6995,42 \sigma_t$$

$$\sigma_t = \frac{2110}{6995,42}$$

$$\sigma_t = 0,3 \times \text{safety factor}$$

$$\sigma_t = 0,3 \times 4$$

$$\sigma_t = 1,2 \text{ N/mm}^2 = 12 \text{ MP}$$

Kawat las yang digunakan yaitu NS-307 / E307-16 dengan tensile strength 620 N/mm². Sehingga konstruksi plate pengarah sangat kuat.

3. Menentukan Budget Operasional Pneumatic Conveyor V92-RF1

Kondisi dari *ejector* sebelum dimodifikasi sangatlah memprihatinkan juga apabila kita lihat dari sisi biaya operasional. Biaya operasional *ejector* menjadi membengkak dari yang seharusnya hal ini hanya dilakukan saat stop saja, sedangkan ini dilakukan tiap *shift*. *Cleaning* adalah biaya yang dikeluarkan secara rutin oleh perusahaan tiap bulannya hanya untuk mengatasi masalah ini. Pada *ejector cleaning* dilakukan tiap *shift* sehingga pekerja operasional terdapat 2 orang. Kegiatan ini dilaksanakan oleh 2 orang pekerja kontraktor dengan upah Rp. 12.500,00 tiap jamnya. Dari data ini saja bisa dihitung pengeluaran perusahaan tiap bulannya (Data diambil kondisi aktual dilapangan).

Data:

$$d = 30 \text{ hari}$$

$$s = 3 \text{ shift}$$

$$h = 8 \text{ jam/shift}$$

$$p1 = 1 \text{ orang /shift}$$

$$p2 = 2 \text{ orang/shift}$$

$$c = \text{Rp } 12.500/\text{jam}$$

Menentukan budget cleaning untuk satu bulan (B1)

$$B1 = d \times s \times h \times p2 \times c$$

$$= 30 \times 3 \times 8 \times 2 \times 12.500$$

$$= \text{Rp } 18.000.000,00$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa perusahaan harus mengeluarkan biaya sebesar Rp. 18.000.000,00 tiap bulannya untuk operasional.

4. Menghitung Kecepatan Udara Pada Ejector Sebelum Modifikasi

(<https://www.ahlipengertian.com/hukum-bernoulli/>)

Data : $P_1 = 42.2 \text{ kN/m}^2$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$V_1 = \frac{1}{d^2} = \frac{1}{(0,254)^2} = 15,5 \text{ m/s}$$

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 (0,254)^2}{4} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_2 &= P \times L \\ &= 282\text{mm} \times 120\text{mm} \\ &= 33840\text{mm}^2 = 0,3384 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$V_2 ?$

$$\begin{aligned} A_1 \times V_1 &= A_2 \times V_2 \\ 0,05 \times 15,5 &= 0,3384 \times V_2 \\ 0,785 &= 0,3384 \times V_2 \\ V_2 &= \frac{0,785}{0,3384} \\ V_2 &= 2,32 \text{ m/s} \end{aligned}$$

5. Menghitung Kecepatan Udara Pada Ejector Setelah Modifikasi

(<https://www.ahlipengertian.com/hukum-bernoulli/>)

Data : $P_1 = 42,2 \text{ kN/m}^2$

$$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$V_2 ?$

$$V_1 = \frac{1}{d^2} = \frac{1}{(0,254)^2} = 15,5 \text{ m/s}$$

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 (0,254)^2}{4} = 0,05 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} A_2 &= P \times L \\ &= 282\text{mm} \times 85\text{mm} \\ &= 2397\text{mm}^2 = 0,2397 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_1 \times V_1 &= A_2 \times V_2 \\ 0,05 \times 15,5 &= 0,2397 \times V_2 \\ 0,785 &= 0,2397 \times V_2 \\ V_2 &= \frac{0,785}{0,2397} \\ V_2 &= 3,275 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Peningkatan kecepatan udara :

$$\begin{aligned} &= \frac{V_2 \text{ desain baru} - V_2 \text{ desain lama}}{V_2 \text{ desain lama}} \times 100\% \\ &= \frac{3,275 - 2,32}{2,32} \times 100\% \\ &= 41\% \end{aligned}$$

6. Menentukan Biaya Modifikasi Ejector V92-RF1

Biaya yang dikeluarkan untuk modifikasi ini adalah *budget* yang di keluarkan untuk membiayai perancangan ini. Dalam hal ini *budget* yang dikeluarkan digunakan untuk membiayai pekerjaan teknikal atau fabrikasi, instalasi, dan penulisan makalah tugas akhir ini. Secara garis besar *budget* dalam modifikasi ini digunakan untuk membiayai pekerjaan fabrikasi dan instalasi, adapun rinciannya digunakan untuk pembelian material, pembiayaan jasa kontraktor, dan pembiayaan untuk membeli sumber energi (listrik dan panas).

7. Menentukan Penurunan Budget Setelah Modifikasi

Setelah dilakukan modifikasi, dari sisi biaya perawatan terjadi penurunan yang sangat drastis. Hal ini dibuktikan dengan durasi *cleaning* yang minim. Jumlah pekerja kontraktor yang dipekerjakan dapat diminimalkan menjadi 1 orang yang tadinya 2 orang, dengan upah yang yang diberikan Rp. 12.500,00 tiap jamnya. Berdasarkan data ini bisa dihitung besarnya penurunan biaya perawatan untuk *cleaning* dengan perbandingan adalah biaya perawatan sebelum modifikasi (Data diambil kondisi aktual dilapangan).

Data:

$$d = 30 \text{ hari}$$

$$s = 3 \text{ shift}$$

$$h = 8 \text{ jam/shift}$$

$$p1 = 1 \text{ orang /shift}$$

$$p2 = 2 \text{ orang/shift}$$

$$c = \text{Rp } 12.500/\text{jam}$$

- a. Menentukan budget cleaning untuk satu bulan sebelum modifikasi (B1)

$$\begin{aligned} B1 &= d \times s \times h \times p2 \times c \\ &= 30 \times 3 \times 8 \times 2 \times 12.500 \\ &= \text{Rp } 18.000.000,00 \end{aligned}$$

- b. Menentukan budget cleaning untuk satu bulan setelah modifikasi (B2)

$$\begin{aligned} B2 &= d \times s \times h \times p1 \times c \\ &= 30 \times 3 \times 8 \times 1 \times 12.500 \\ &= \text{Rp } 9.000.000,00 \end{aligned}$$

- c. Menentukan persentase penurunan budget cleaning (% dec)

$$\begin{aligned} \% \text{ dec} &= (1 - (B2/B1)).100\% \\ &= (1 - (9.000.000/18.000.000)).100\% \\ &= 50 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa perusahaan dapat melakukan pengamatan biaya perawatan pasca modifikasi sebesar 50 % tiap bulannya.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan dan modifikasi pada *ejector* V92-RF1 didapat kesimpulan sebagai berikut:

- a. Modifikasi *ejector* V92-RF1 telah berhasil dilaksanakan.
- b. Terjadi peningkatan nilai kecepatan udara sebesar **41%** terhadap nilai kecepatan udara sebelumnya setelah dilakukan modifikasi *ejector* V92-RF1.
- b. *Blocking* material tidak terjadi pada *ejector* V92-RF1 selama 1 bulan terakhir pasca modifikasi.
- c. Biaya operasional untuk perawatan *cleaning ejector* V92-RF1 mengalami penurunan sebesar **50%** setelah dilakukan modifikasi *ejector* V92-RF1.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BAKHTIAR, ROBBY. "REKONDISI DAN MODIFIKASI X12-BC1 UNTUK." Tugas Akhir, 2017: 9-9.
- [2] budibadibu. *budibadibu.wordpress.com*. 05 July 2010. <https://budibadibu.wordpress.com/2010/07/05/alternative-fuel-and-recources/> (diakses January 15, 2018).
- [3] Hadi, Nilwan Subuh. "Analysis of Effect of Replacement Rotary Feeder and Screw Conveyor with Tipping Valve at the Outlet of Bag Filter." *Case Studi (PNJ)*, 2015: 12-13.
- [4] Kunchoro, Adi. "Ejektor." Tugas Khusus, t.thn.: 1-2.
- [5] MS, Nursyahid. "ILMU PIPA - Mengenal Fungsi, Jenis- jenis Pipa dan Komponennya." t.thn.
- [6] Murphy, Marcie. *Laporan Praktek kerja*, 2015.
- [7] Latuperissa, Yeriko Amardo. 2016, Juli. Modifikasi *Piping Duct* 362-BF1 untuk Meningkatkan Performa 362-BF1.
- [8] Mills, david. 2004. "Pneumatic Conveying Design Guide Second Edition".
- [9] <https://www.ahlipengertian.com/hukum-bernoulli/> (diakses Mei 3, 2018).
- [10] Chan, Chan ST, MT, "Elemen Mesin Las".

MODIFIKASI PURGING PIPE UNTUK MENINGKATKAN PERFORMA 432-BF1

Galant Ogeseit Dyanddini¹; Syupriadi Nasution²

¹Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta,

²Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta,

galantogeseit.holcim@gmail.com

Abstrak

Sebagai alat dedusting system, Bag Filter 432-BF1 dirancang sedemikian rupa untuk memproses debu yang dihasilkan saat proses transpor raw meal di area kiln feeding agar tidak menyebabkan polusi udara serta tidak mengganggu kinerja equipment yang terkait langsung dengan alur proses di area tersebut. PT Holcim Indonesia Pabrik Cilacap menargetkan polusi serendah mungkin, sehingga perlu dipastikan bahwa bag filter bekerja dengan optimal.

Data inspeksi mingguan Departemen Maintenance dari tahun 2016 sampai 2018 menunjukkan angka differential pressure (DP) melebihi 150 mmH₂O. Nilai ini mengindikasikan masalah pada bag filter. Kondisi operasi Bag Filter 432-BF1 mengalami gangguan, yakni kantung filter tidak mampu menangkap partikel-partikel debu raw meal dengan sempurna karena adanya coating yang tercipta akibat partikel debu raw meal yang tertinggal dan tidak ikut rontok selama proses purging berlangsung. Fenomena tersebut terjadi lantaran ukuran purging pipe yang saat ini terpasang tidak cukup besar untuk dapat menyalurkan seluruh udara purging yang dibutuhkan saat proses purging berlangsung. Dengan kata lain, terjadi penyimpangan antara actual purging flow dengan flow yang tertera di buku manual bag filter. Arah tembakan udara purging yang ditembakkan oleh purging pipe menyebar ke segala arah akibat tidak ada tube pengarah.

Modifikasi yang dilakukan pada purging pipe Bag Filter 432-BF1 adalah mengganti purging pipe yang sudah terpasang dengan purging pipe baru dengan ukuran lebih besar. Ukuran purging pipe yang lebih besar dapat menyalurkan seluruh udara purging yang dibutuhkan untuk proses purging. Selain itu, purging pipe baru yang dipasang dimodifikasi dengan tambahan tube pengarah tembakan agar udara purging fokus mengarah ke ventury. Modifikasi ini dapat meningkatkan purging flow yang dialirkan ke filter bag, sehingga masalah coating yang terjadi di Bag Filter 432-BF1 dapat diatasi.

Kata kunci: bag filter, purging pipe, flow

Abstract

As a dedusting equipment, Bag Filter 432-BF1 was designed in such a way to process dust derived from the raw meal transport process in kiln feeding area in order not to cause air pollution and not disturb the work of the equipment that is directly related to the process flow. PT Holcim Indonesia Cilacap Plant targets low pollution, so bag filter must work by optimum.

Differential pressure (DP) is a parameter that acts as an indicator of the performance of bag filter itself. The value of the differential pressure which is more than 150 mmH₂O indicates an abnormal condition of the bag filter. Weekly inspection of Maintenance Department from 2016 to 2018 shows that the differential pressure of Bag Filter 432-BF1 is more than 150 mmH₂O. In the latest two years, Bag Filter 432-BF1 has trouble in its operation. The filter bags cannot perfectly collect the dust particles because of the coating of dust particles in a specific quantity that is not falling off during the purging system. That remaining dust particles disturb the effectiveness of the purging system. This phenomenon occurs because the existing purging pipes are not big enough to flow the total purging air that is needed during the purging process. This can be said that there is deviation between the actual purging flow and the purging flow based on the manual book. The purging shot is spreaded in all directions since there is no directional tube.

The modification which is going to be done is replacing the purging pipes which are already installed with the new ones that have bigger diameter and adding directional tubes. Larger purging pipes are expected to aim more flow to filter cage, and the directional tubes are expected to make the purging shot is directed to filter cage. By carrying out this modification, the trouble of coating that often happens on bag filter 432-BF1 can be solved.

Keywords: bag filter, purging pipe, flow

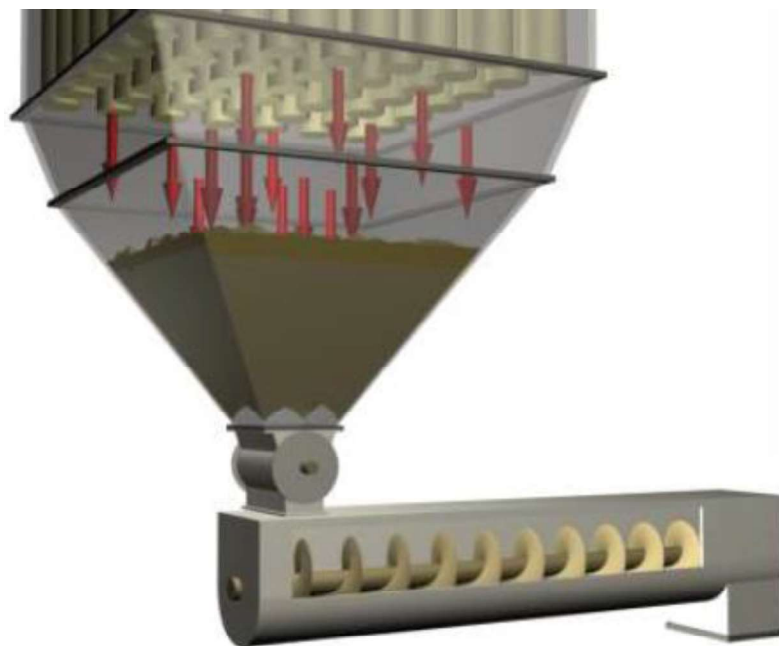
I. PENDAHULUAN

Dedusting system menduduki peranan yang sangat penting dalam industri semen. Alur proses produksi semen, baik dari bahan umpan, bahan setengah jadi, maupun bahan jadi, berpotensi menimbulkan debu. Baik

dari sisi dalam pabrik maupun sisi luar pabrik, semua menghendaki emisi debu yang seminimal mungkin. Debu yang timbul dari proses produksi semen berisiko menyebabkan polusi udara serta mengganggu kerja *equipment* yang terkait dengan alur proses tersebut. Maka dari itu, pabrik semen membutuhkan *equipment* untuk menanggulangi hal tersebut. *Bag filter* merupakan salah satu wujud kemajuan teknologi di dunia industri, khususnya industri semen, yang berperan dalam *dedusting system*, yaitu proses pemisahan partikel debu dan udara supaya area sekitar *bag filter* tidak berdebu serta tidak menimbulkan tumpukan material (*coating*) tidak diharapkan di dalam *equipment* yang dapat mengganggu kinerja *equipment* lain yang terkait dengan alur proses (Bambang Sumrachadi, “Peralatan Mekanis Industri Semen”, 1994).

Bag Filter 432-BF1 terletak di area *blending silo*. *Bag filter* ini melakukan proses *dedusting raw meal* yang berasal dari proses transpor di *Air Slide 432-AS5*. Material *raw meal* ini dihasilkan oleh proses sebelumnya di *raw mill*. *Raw meal* yang telah melalui proses di *raw mill* ditranspor ke *blending silo* sebagai tempat penyimpanan untuk proses produksi berikutnya sesuai dengan kebutuhan proses produksi. *Bag filter* harus bekerja optimal untuk mencapai proses *dedusting* yang baik. Masalah-masalah yang terjadi di *bag filter* tentu dapat mengganggu efektivitas kerja *dedusting system* di area *blending silo*.

Differential pressure (DP) merupakan salah satu parameter yang menunjukkan kinerja *bag filter*. *Bag filter* dikatakan beroperasi dengan normal jika nilai *differential pressure* ≤ 150 mmH₂O. Data inspeksi mingguan Departemen *Maintenance* dari tahun 2016 sampai 2018 menunjukkan angka *differential pressure (DP)* melebihi 150 mmH₂O. Nilai *differential pressure* ini mengindikasikan adanya masalah pada *bag filter*. Dalam kurun waktu dua tahun terakhir, kondisi operasi *Bag Filter 432-BF1* mengalami gangguan, yakni kantong filter tidak mampu menangkap partikel-partikel debu *raw meal* dengan sempurna sehingga tidak sepenuhnya rontok selama proses *purging* berlangsung. Debu *raw meal* yang masih tertinggal lalu terakumulasi dan menyebabkan *coating* pada kantong-kantong filter. Fenomena tersebut terjadi lantaran *purging pipe* yang saat ini terpasang tidak cukup besar untuk dapat menyalurkan seluruh kebutuhan udara *purging* saat proses *purging* berlangsung. Ditambah lagi dengan arah tembakan udara *purging* yang tidak fokus ke *ventury*, tetapi menyebar ke segala arah akibat tidak terdapat *tube* yang mengarahkan tembakan udara tersebut. *Coating* yang terakumulasi dan terus menumpuk pada kantong-kantong filter dirontokkan berkala secara manual dengan menyetel bukaan *damper*. Cara ini memang efektif, tetapi dampaknya ialah debu *raw meal* yang rontok dan jatuh ke *screw conveyor* melalui *hopper* kuantitasnya banyak bahkan berpotensi menyebabkan proses transpor *raw meal* di *screw conveyor* tidak lancar, atau dengan kata lain mengalami *blocking*.



Gambar 1 Material Blocking

II. METODE PENELITIAN

1. Studi Lapangan

Pada tahap ini dilakukanlah pengamatan langsung ke lapangan untuk mengetahui masalah yang terjadi pada *Bag Filter 432-BF1*. Fokus pengamatan ini yaitu pada komponen, alur proses, dan titik lokasi masalah yang akan diangkat. Detail pengamatan yang dilakukan ialah:

- Bagaimana konstruksi *purging pipe Bag Filter 432-BF1* saat ini?
- Di titik mana *coating* terjadi?
- Apakah konstruksi *purging pipe Bag Filter 432-BF1* sudah efektif untuk menyalurkan udara bertekanan untuk proses *purging*?

2. Studi Literatur

Mencari dan mengumpulkan data kredibel yang dibutuhkan dengan cara mengembangkan informasi yang sudah didapatkan melalui studi lapangan. Data didapatkan dari buku manual, laporan kerja, *maintenance checklist*, dan internet.

3. Diskusi Masalah

Setelah mendapatkan informasi mengenai masalah yang terjadi pada *Bag Filter 432-BF1* berdasarkan studi lapangan, pada tahap ini dilakukanlah diskusi data dan informasi dengan *mechanical kiln superintendent*. Selain data *equipment* yang akurat, dibutuhkan pula informasi berdasarkan pengalaman *mechanical kiln superintendent* guna membandingkan dan menyempurnakan data. Pihak-pihak lain yang juga terlibat dalam tahap ini ialah *kiln mechanical engineer* dan *kiln process engineer*.

4. Analisis Data

Di tahap ini, ada dua tahap yang dilakukan. Yang pertama ialah menentukan RCA (*Root Cause Analysis*) guna mendapatkan penyebab pasti masalah *coating* terjadi pada *bag filter*. Yang kedua ialah perhitungan data dan analisis perubahan parameter pada *Bag Filter 432-BF1* dengan dilakukannya modifikasi.

5. Realisasi Modifikasi

Data yang sudah diolah dan dinyatakan valid menjadi patokan dalam tahap pengerjaan di lapangan yang meliputi fabrikasi dan instalasi.

6. Evaluasi

Data RCA (*Root Cause Analysis*) digunakan sebagai evaluasi bagi perusahaan. Selanjutnya, hasil analisis data menghasilkan rekomendasi dan saran bagi perusahaan untuk mengamati kinerja *bag filter* lain agar *dedusting system* semakin maksimal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

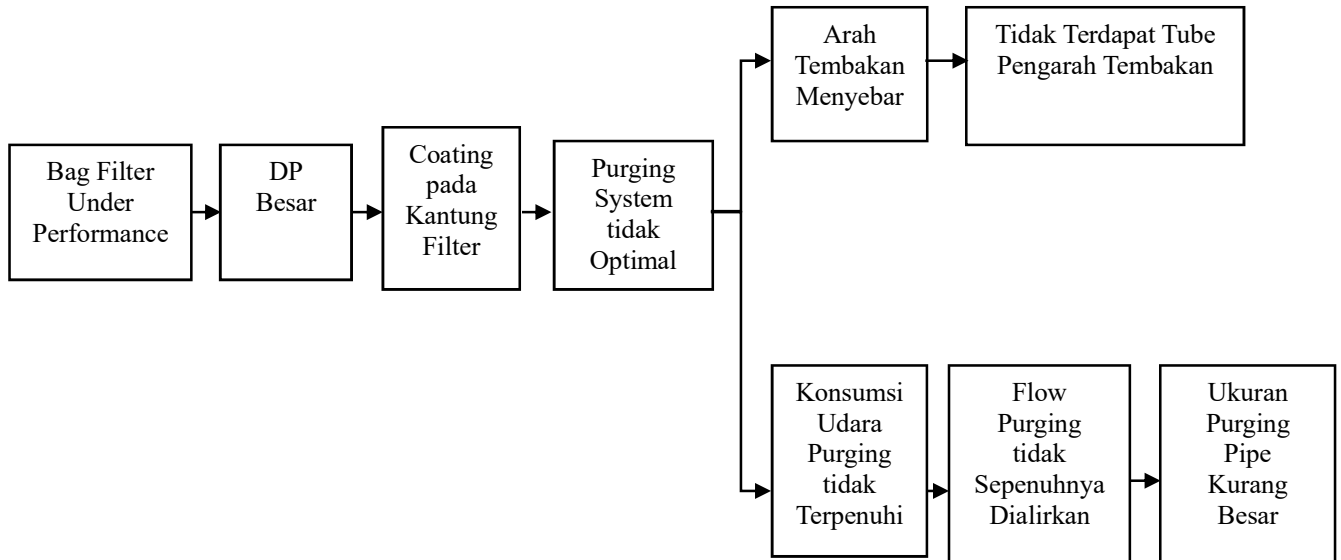
1. Identifikasi Penyebab *Coating* pada Kantung Filter

Coating pada kantung filter merupakan penumpukan material akibat debu *raw meal* yang tidak ikut rontok, tertinggal, lalu terakumulasi dan menyebabkan kantung filter jenuh sehingga kemampuannya untuk menangkap partikel-partikel debu *raw meal* berkurang dan menyebabkan kinerja *bag filter* tidak optimal. Kondisi kantung filter yang jenuh menyebabkan proses *purging* tidak berjalan sesuai dengan ekspektasi. Penggantian kantung-kantung filter yang jenuh hanya menyelesaikan masalah sementara, tetapi tidak dapat mengatasi masalah *coating* yang terjadi di *bag filter*.



Gambar 2 *Coating* pada Kantung Filter

Berikut adalah analisis akar masalah *coating* pada *Bag Filter* 432-BF1:



Gambar 3 Diagram Akar Masalah

Setelah dilakukan analisis, maka diambil kesimpulan bahwa ada dua akar masalah penyebab *coating* pada *Bag Filter* 432-BF1, yaitu:

a. Ukuran Purging Pipe Kurang Besar

Udara *purging* berasal dari tabung kompresor, lalu dialirkan ke *header tank*. Udara *purging* yang tersimpan di *header tank* dialirkan ke masing-masing pipa *purging* sesuai dengan mekanisme yang diatur oleh *solenoid valve*. Di *Bag Filter* 432-BF1, terdapat 22 pipa yang berjajar paralel yang diatur oleh tiga buah *solenoid valve*. *Solenoid valve* mengatur *flow* udara yang masuk ke *purging pipe* lewat diafragma.

Kebutuhan udara *purging* sudah ditentukan sesuai dengan desain spesifikasi *bag filter*. Berdasarkan perhitungan *flow* yang dijelaskan di subbab 2 “Menentukan *Purging Flow* sebelum Modifikasi”, *purging flow* yang mengalir di *purging pipe* saat proses *purging* berlangsung jumlahnya kurang dari *purging flow* yang sudah ditentukan di buku spesifikasi. Hal ini disebabkan oleh ukuran *purging pipe* yang kurang besar sehingga tidak dapat mengalirkan kebutuhan udara *purging* sepenuhnya. Akibatnya, tidak semua debu *raw meal* rontok saat proses *purging* berlangsung. Debu *raw meal* yang tertinggal ini lantas terakumulasi dan menumpuk di kantong-kantong filter, sehingga menyebabkan *coating*.

b. Tidak Terdapat *Tube* Pengarah Tembakan

Selain *purging flow* yang memadai, proses *purging* yang optimal juga membutuhkan ketepatan arah tembakan udara *purging*. Proses *purging* tidak akan berjalan dengan optimal apabila tembakan udara dari pipa *purging* tidak terarah ke *ventury*, seperti yang terjadi pada *bag filter* 432-BF1. Dengan kata lain, udara *purging* menyebar ke segala arah. Sehingga, ada sebagian udara bertekanan yang “salah sasaran” karena tidak tepat ditembakkan ke *ventury*. Kondisi ini semakin memperkuat asumsi bahwa tidak terdapatnya *tube* pengarah tembakan merupakan salah satu penyebab performa *Bag Filter* 432-BF1 yang tidak optimal.

2. Menentukan *Purging Flow* sebelum Modifikasi

Perhitungan *flow* udara *purging bag filter* sebelum modifikasi diperlukan sebagai data kuantitatif sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa penyebab *blocking* memang karena kurangnya *purging flow* pada pipa *purging*. Data spesifikasi *purging pipe* ialah sebagai berikut:

$$OD = 0,0334 \text{ m}$$

$$t_p = 4 \text{ s}$$

$$L = 2,129 \text{ m}$$

Jenis pipa yang digunakan sebagai pipa *purging* pada ialah *schedule pipe 40* dengan ukuran 1 inchi dan tebal (w) 3,38 mm. Sehingga diameter dalam (ID)—selanjutnya disebut D_1 —ialah:

$$\begin{aligned} D_1 &= OD - w \\ &= 0,0334 - 0,0038 \\ &= 0,0296 \text{ m} \end{aligned}$$

a. Menentukan *flow* awal tiap pipa *purging* sebelum modifikasi (Q_1)

Sebelum dilakukan modifikasi, *purging pipe* yang digunakan untuk mengalirkan udara bertekanan saat proses *purging* memiliki ukuran 1 inchi dengan jumlah pipa 22 buah. Total *flow* pada 22 pipa tersebut ialah (KhanAcademy, Fluid Dynamics. <https://www.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-volume-flow-rate>. 3 Juli 2018):

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{V_1}{t_p} \\ &= \frac{\frac{\pi}{4} D_1^2 \cdot L}{t_p} \\ &= \frac{3,14 \cdot 0,0296^2 \cdot 2,129}{4} \\ &= 0,0003326 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

b. Menentukan *flow* udara *purging* yang dibutuhkan tiap pipa (Q_c)

Pada saat proses *purging* berlangsung, *solenoid valve* mengatur suplai *flow* yang mengalir ke *purging pipe* melalui diafragma. Udara bertekanan mengalir ke satu buah *purging pipe* selama 4 detik. Udara bertekanan ditembakkan keluar melalui lubang *purging* ke 10 kantong filter. Dari data spesifikasi *Bag Filter 432-BF1*, diketahui bahwa *flow* total udara *purging* yang dibutuhkan ialah $47 \text{ m}^3/\text{h}$ atau sama dengan $0,013 \text{ m}^3/\text{s}$. Dengan total 22 *purging pipe*, maka *purging flow* pada masing-masing pipa ialah:

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{Q_{ct}}{n} \\ &= \frac{0,013}{22} \\ &= 0,0005909 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

c. Menentukan persentase deviasi *flow* udara *purging* ($\%_{dev}$)

Setelah mengetahui *purging flow* yang dialirkan oleh *purging pipe* dan membandingkannya dengan kebutuhan *purging flow*, maka didapatkan penyimpangan *flow* pada *purging pipe* (Jericho Amardo, 2016:26) yaitu:

$$\begin{aligned} \%_{dev} &= \left[1 - \left(\frac{Q_1}{Q_c} \right) \right] \cdot 100\% \\ &= \left[1 - \left(\frac{0,0003326}{0,0005909} \right) \right] \cdot 100\% \\ &= 43,71 \% \end{aligned}$$

3. Menentukan Konsumsi Udara *Purging*

Merujuk pada data spesifikasi, nilai *flow* udara *purging* sudah ditentukan. Dengan mengetahui *flow* ini, maka dapat diketahui konsumsi udara *purging* yang dibutuhkan.

a. Menentukan Konsumsi Udara *Purging* Total (V_{pt})

Dengan durasi *purging* 4 detik untuk tiap pipa, dapat ditentukan konsumsi udara *purging* total (KhanAcademy, Fluid Dynamics. <https://www.khanacademy.org/science/physics/fluids/fluid-dynamics/a/what-is-volume-flow-rate>. 3 Juli 2018), yaitu:

$$\begin{aligned} V_{pt} &= Q_{ct} \cdot t_p \\ &= 0,013 \cdot 4 \\ &= 0,052 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Menentukan Kebutuhan Udara *Purging* per Pipa (V_p)

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{V_{pt}}{n} \\ &= \frac{0,052}{22} \\ &= 0,002363 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4. Menentukan Diameter Pipa *Purging* yang akan Diinstal

Berdasarkan perhitungan *flow* udara *purging* sebelum modifikasi, diketahui bahwa terjadi deviasi *flow* sebesar 43,71 %. Angka ini sekaligus memperkuat hipotesis bahwa performa *Bag Filter 432-BF1* tidak optimal karena kurangnya *flow purging* sehingga ukuran pipa *purging* 1 inchi tidak dapat melayani kebutuhan udara *purging*. Maka dari itu, dilakukanlah modifikasi *Bag Fiter 432-BF1* dengan mengganti pipa *purging* lama dengan pipa *purging* baru dengan ukuran yang lebih besar.

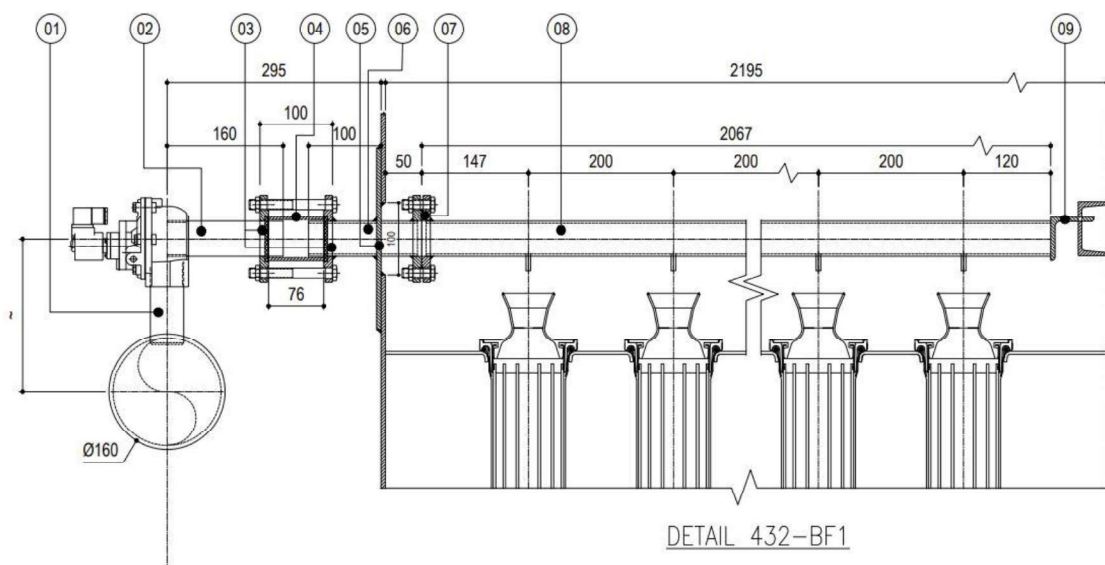
Diameter pipa *purging* yang akan diinstal dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_p &= \frac{\pi}{4} \cdot D_2^2 \cdot L \\ 0,002363 &= \frac{3,14}{4} \cdot D_2^2 \cdot 2,129 \\ 0,002363 &= 1,6712 D_2^2 \\ D_2^2 &= 0,001413 \\ D_2 &= \sqrt{0,001413} \\ &= 0,03758 \text{ m} \\ &= 37,58 \text{ mm} \end{aligned}$$

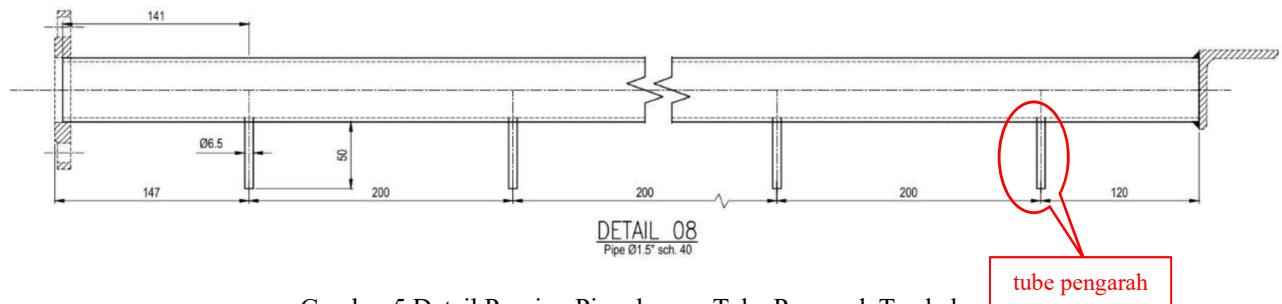
Tabel 1 Ukuran Schedule Pipe 40

Ukuran	Panjang	OD	Tebal	ID
inchi	m	mm	mm	mm
1/2"	6	21.4	2.6	18.8
3/4"	6	26.9	2.6	24.3
1"	6	33.8	3.2	30.6
1 1/4"	6	42.4	3.2	39.2
1 1/2"	6	48.3	3.2	45.1
2"	6	60.3	3.6	56.7
2 1/2"	6	76	3.6	72.4
3"	6	88.8	4.0	84.8
4"	6	114.1	4.5	109.6
5"	6	139.7	4.8	134.9
6"	6	165.1	4.8	160.3

Nilai 37,58 mm merupakan diameter dalam (ID) pipa. Berdasarkan tabel ukuran *schedule pipe 40* yang beredar di pasaran, ukuran yang paling mendekati ialah *schedule pipe 40* ukuran 1,25 inchi. Akan tetapi, mengingat dalam sistem purging hal utama yang paling penting ialah *flow*, maka dipilihlah *schedule pipe 40* dengan ukuran **1,5 inchi** agar *purging flow* lebih lancar. Berdasarkan tabel ukuran, *schedule pipe 40* ukuran 1,5 inchi memiliki diameter dalam (ID) 44,58 mm.



Gambar 4 Desain Modifikasi Bag Filter 432-BF1



Gambar 5 Detail Purgung Pipe dengan Tube Pengarah Tembakan

5. Menentukan *Purgung Flow* setelah Modifikasi

a. Menentukan *flow* udara purging tiap pipa (Q_2)

$$\begin{aligned}
 Q_2 &= \frac{V_2}{t_p} \\
 &= \frac{\frac{\pi D_2^2 L}{4}}{t_p} \\
 &= \frac{\frac{3.14 \cdot 0.04458^2 \cdot 2.129}{4}}{4} \\
 &= 0,0008303 \text{ m}^3/\text{s}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan peningkatan *flow* udara purging ($\%_{inc}$)

$$\begin{aligned}
 \%_{inc} &= \left[1 - \left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) \right] \cdot 100\% \\
 &= \left[1 - \left(\frac{0,0003326}{0,0008303} \right) \right] \cdot 100\% \\
 &= 59,94 \%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa dengan penggantian *purging pipe* 1 inci menjadi *purging pipe* berukuran 1,5 inci terjadi peningkatan *purging flow* sebesar 59,94 %.

IV. KESIMPULAN

- Dari hasil perhitungan, terjadi penyimpangan *purging flow* dari spesifikasi, yaitu sebesar 43,71 %.
- Dengan pemasangan *tube* pengarah, tembakan *purging* menjadi lebih terarah dan fokus ke *ventury*.
- Purgung pipe* baru berukuran 1,5 inci menghasilkan peningkatan *flow* sebesar 59,94 %.

V. DAFTAR PUSTAKA

- Flückiger Werner, Beat Stocker, "Fabric dust collector system", B1 MPT 03/14902/E.
- Fuller Kovako Corporation. "Contract instruction manual jet pulse collector equipment"
- Korea Heavy Industries & Construction Co.,Ltd. "Bag filter manuals", 1995.
- Hengky Setiawan, "Makalah equipment maintenance bag filter", 2015.
- Shah, K.P, "Working, design consideration, and maintenance of bag type fabric filter", 2017
- Anggi Nurbana, "Jenis-jenis dust collector", 2017.
- Bambang Sumrachadi, "Peralatan mekanis industri semen", 1994.
- Yeriko Amardo Latuperissa, "Modifikasi piping duct 362-BF1 untuk meningkatkan performa 362-BF1", 2016.
- Triyan Afriantoro, "Rancang bangun electrical wiring pada pulse controller bag filter 432-BF1 sesuai holcim standard design criteria", 2017.

PEMROGRAMAN HMI MAGELIS GTO 5310 SERIES DI PALLETIZER (67B-PA1)

Rizqi Alamsyah¹; Fatahula²; Ridwan Dwi Prasetya³

¹Teknik Mesin, Konsentrasi Rekayasa Industri Semen, Politeknik Negeri Jakarta,

²Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Politeknik Negeri Jakarta

³Dept. Electric Finish Mill & Pack House, PT. Holcim Indonesia Plant Cilacap
rizqialamsyah.holcim@gmail.com

Abstrak

Dalam industri semen, untuk mendukung proses pengiriman produk, kantong semen perlu disusun terlebih dahulu diatas sebuah pallet. Dalam hal ini PT. Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap menggunakan mesin palletizer dalam menyusun kantong-kantong semen menjadi sebuah kantong semen berpallet. Semua proses yang terjadi di palletizer ini dikontrol dan dimonitor dalam sebuah layar yang disebut dengan HMI (Human Machine Interface). HMI secara fisik berupa sebuah layar yang menampilkan semua proses dalam suatu mesin. Melalui HMI tersebut kita bisa mengontrol parameter-parameter yang ada, seperti kecepatan, koordinat, waktu delay, dan nilai proses lainnya dalam sebuah mesin. HMI yang digunakan di Palletizer pada awalnya bermerk Siemens dengan tipe SIPLUS HMI OP277. Obsolete dan sering terjadinya kerusakan pada HMI tersebut tentu menjadi sebuah masalah karena bisa mengakibatkan kerugian yang sangat besar akibat terhentinya proses produksi di area Palletizer. Hal ini mengakibatkan HMI perlu diganti dengan HMI lain yaitu Magelis GTO 5310 buatan Schneider agar proses produksi di Palletizer tidak terganggu jika sewaktu-waktu terjadi trouble di HMI. Proses penggantian HMI dari Siemens ke Schneider tentu bukan sebuah pekerjaan mudah seperti layaknya "plug and play". Perlu dilakukan pemrograman yang tepat pada HMI. Dimulai dari membuat variabel list, alarm list, image list dan resources lainnya. Lalu dilakukan proses convert dari progam lama pada software SIMATIC WIN CC ke program baru pada software Vijeo Designer. Setelah program selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah proses tes logis, yaitu proses quality control agar program yang baru dapat berfungsi seperti program yang lama. Hasil yang diharapkan dari penggantian HMI ini adalah berkurangnya frekuensi kerusakan HMI dan memudahkan operator dalam mengoperasikan HMI sehingga proses yang terjadi di palletizer menjadi lebih efisien dan optimal.

Kata kunci: HMI Magelis GTO 5310, Pemrograman, Palletizer

Abstract

In the cement industry, to encourage the delivery process, the cement bags need to be arranged first on the pallet. In this case PT. Holcim Indonesia Tbk. Cilacap factory uses a palletizer machine in the form of pockets of cement into a pallet cement bag. All the processes that occur in this palletizer and are referred to as HMI (Human Machine Interface). HMI becomes a process that displays all processes in the machine. Through the HMI we can control the parameters that exist, such as speed, coordinates, time delay, and the value of process in the machine. HMI at Palletizer originally branded Siemens with type SIPLUS HMI OP277. Obsolete and often the occurrence of damage to the HMI can be a problem because it can cause huge losses due to cessation of production processes in the area Palletizer. This allows HMI to be replaced by other HMI that is Magelis GTO 5310 manufactured by Schneider for the production process in Palletizer will not be disturbed if at any time there is a problem in HMI. The process of switching HMI from Siemens to Schneider is certainly not an easy task like "plug and play". Need to do the right programming on HMI. Instead of creating variable lists, alarm lists, image lists and other resources. Then converted from an old program on the SIMATIC WIN CC software to a new program on the Vijeo Designer software. After the program is finished, the next step is a logical test process, namely the quality control process so that the new program can produce such an old program. The possible result of this HMI conversion is to reduce the HMI frequency and facilitate the operator in the HMI process and the processes that occur in the palletizer become more efficient and optimal.

Keywords: HMI Magelis GTO 5310, programming, palletizer

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

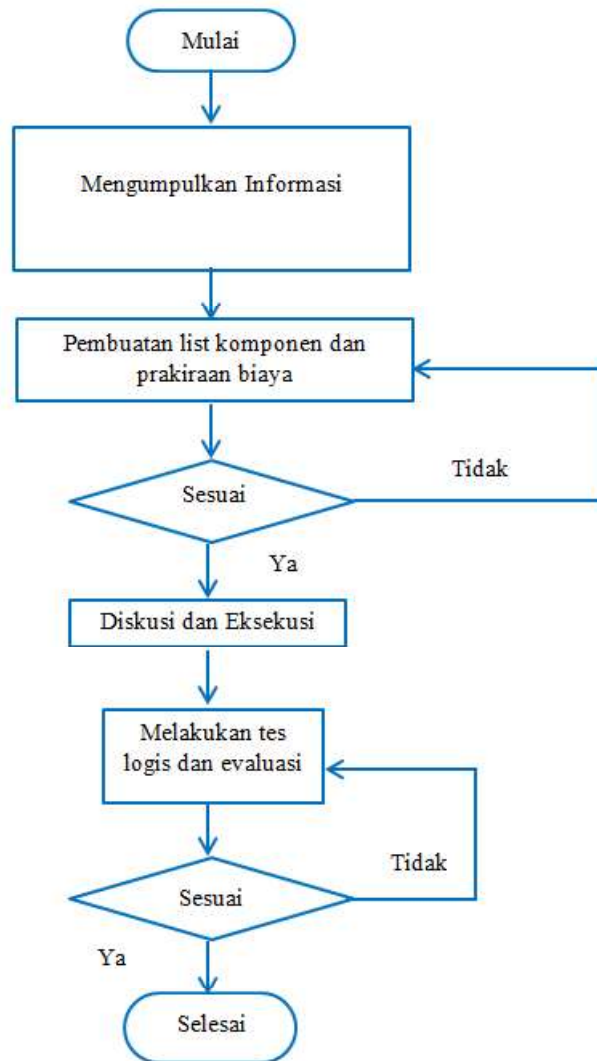
Di PT. Holcim Indonesia Pabrik Cilacap khususnya di area Packhouse terdapat 3 sub area yang vital dalam proses produksi semen. Yaitu sub area Packing machine, sub area Palletizer dan sub area Stretch hood. Dalam operasinya, ketiga equipment tersebut membutuhkan perangkat PLC untuk sistem kontrolnya dan HMI untuk sistem interface antara mesin dan operator.

Untuk sub area Packing machine terdapat 8 jalur, yang dinamakan dengan urutan abjad yaitu F atau jalur 1, G atau jalur 2, H atau jalur 3, I atau jalur 4, J atau jalur 5, K atau jalur 6, L atau jalur 7, dan M atau jalur 8. Untuk jalur 1, 2, 3, 7 dan 8 HMI yang digunakan adalah merk Schneider. Sedangkan jalur lainnya, Palletizer dan Stretch hood masih menggunakan HMI merk Siemens.

Masalah yang terjadi saat ini adalah HMI Siemens dengan tipe SIPLUS HMI OP277 sering mengalami trouble dan saat ini sudah tidak diproduksi oleh Siemens. Oleh karena pentingnya komponen HMI dalam sistem pengontrolan di palletizer, maka sebelum terjadinya trouble pada HMI harus dilakukan langkah persiapan. Yaitu dengan melakukan penggantian HMI. HMI baru yang akan dipakai yaitu HMI merk Schneider dengan tipe Magelis GTO 5310 Series. Pemrograman dilakukan di software buatan Schneider, yaitu Vijeo Designer.

Berdasarkan latar belakang penelitian, adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk membuat program HMI Schneider yang dapat mengontrol proses produksi di Palletizer 67B-PA1. Hasil akhir yang diharapkan yaitu agar HMI Magelis GTO 5310 dapat memperlancar proses produksi khususnya pada equipment Palletizer 67B-PA1.

II. METODE PENELITIAN



Gambar. 1 Diagram Alir Metode Pelaksanaan

Metode penelitian dari tugas akhir berguna untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan dan menjawab permasalahan yang telah dirumuskan dengan berbagai macam tahap penelitian agar lebih terarah. Metode-metode yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini meliputi:

1. Mengumpulkan informasi

Melakukan diskusi dengan supervisor dan expert mengenai kondisi dan situasi di lapangan tentang apapun yang berhubungan dengan HMI dan Palletizer 67B-PA1. Selain itu dibutuhkan informasi tentang software yang digunakan untuk membuat proyek ini, yaitu Vijeo Designer.

2. Membuat list komponen dan prakiraan biaya

Pada tahap ini dilakukan pemilihan type HMI berdasarkan kebutuhan di lapangan dan komponen penunjang lainnya agar pengeluaran menjadi lebih efisien dan efektif.

Kemudian setelah mengetahui list komponen maka didapatkan harga untuk masing-masing komponen sehingga dapat diperkirakan biaya yang akan dikeluarkan untuk menyelesaikan proyek.

3. Diskusi dan eksekusi

Setelah tahap pembuatan list komponen dan perkiraan biaya sudah sesuai maka bisa dilakukan tahap diskusi dan eksekusi. Dalam tahap ini dilakukan diskusi tentang bagaimana tahapan-tahapan yang dilakukan ketika eksekusi dan bahasan hal-hal yang menunjang untuk eksekusi pemrograman agar program yang dibuat nantinya bisa berfungsi dengan baik.

4. Melakukan tes logis dan evaluasi

Tahap ini adalah tahap quality control. Pada tahap ini dilakukan tes logis terhadap program baru yang sudah dibuat sehingga tidak terjadi kesalahan dan menimbulkan permasalahan baru ketika sudah diaplikasikan. Ketika ditemukan kesalahan pada tahap ini maka akan segera dievaluasi dan dibenahi kembali ke tahap diskusi dan eksekusi sehingga kesalahan yang timbul dapat dihilangkan dan diharapkan tidak akan timbul kembali.

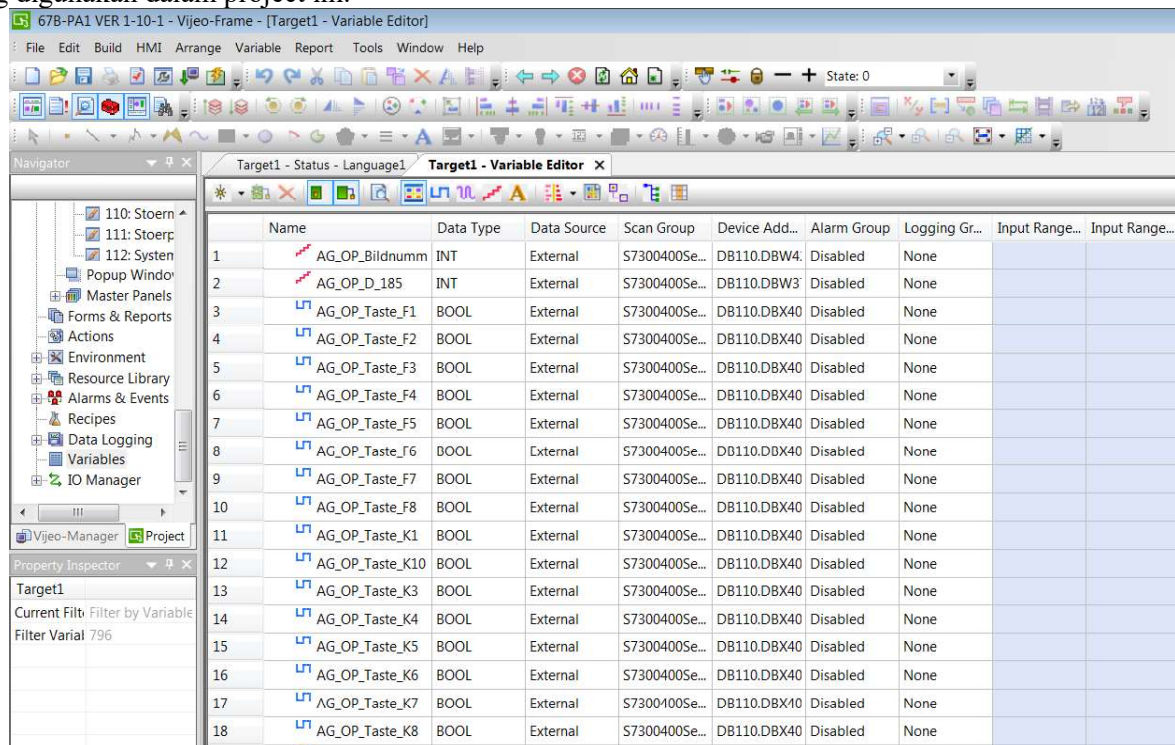
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk membuat program baru dengan convert program dari WinCC yang digunakan untuk HMI Siemens ke Vijeo Designer yang digunakan untuk HMI Schneider, diantaranya adalah :

1. Membuat List Variable

Pembuatan list variable adalah tahapan pertama yang dilakukan ketika membuat sebuah program. Variable adalah nama yang terdapat di memori yang menyimpan berbagai data atau variable bisa dianggap sebagai penampung suatu data. Semua item yang dibutuhkan untuk membuat sebuah proyek perlu diberi variable agar item tersebut bisa mempunyai memori.

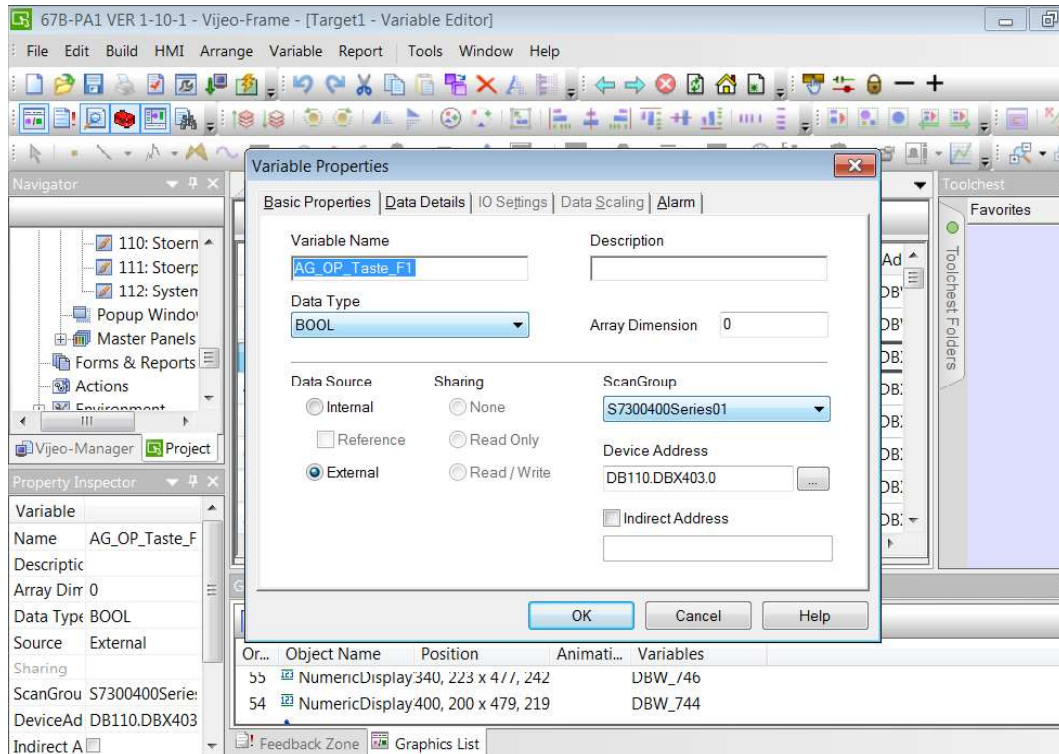
Untuk membuat program HMI palletizer maka dilakukan pembuatan list variable berdasarkan sistem yang sudah ada. List variable akan digunakan sebagai pengalamatan input/output yang digunakan didalam sistem HMI palletizer. Alamat tersebut akan digunakan sebagai alamat modul digital maupu modul analog. Pada list variable yang dibuat juga tercantum deskripsi dari setiap alamat variable yang digunakan. Sehingga memudahkan dalam proses konversi program di Vijeo Designer. Berikut adalah contoh beberapa variable yang digunakan dalam project ini.



Name	Data Type	Data Source	Scan Group	Device Add...	Alarm Group	Logging Gr...	Input Range...	Input Range...
1	AG_OP_Bildnumm	INT	External	S7300400Se...	DB110.DBW4	Disabled	None	
2	AG_OP_D_185	INT	External	S7300400Se...	DB110.DBW3	Disabled	None	
3	AG_OP_Taste_F1	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
4	AG_OP_Taste_F2	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
5	AG_OP_Taste_F3	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
6	AG_OP_Taste_F4	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
7	AG_OP_Taste_F5	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
8	AG_OP_Taste_F6	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
9	AG_OP_Taste_F7	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
10	AG_OP_Taste_F8	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
11	AG_OP_Taste_K1	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
12	AG_OP_Taste_K10	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
13	AG_OP_Taste_K3	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
14	AG_OP_Taste_K4	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
15	AG_OP_Taste_K5	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
16	AG_OP_Taste_K6	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
17	AG_OP_Taste_K7	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	
18	AG_OP_Taste_K8	BOOL	External	S7300400Se...	DB110.DBX40	Disabled	None	

Gambar. 2 List Variable

Dibawah ini adalah contoh beberapa variable dengan masing-masing konfigurasinya.

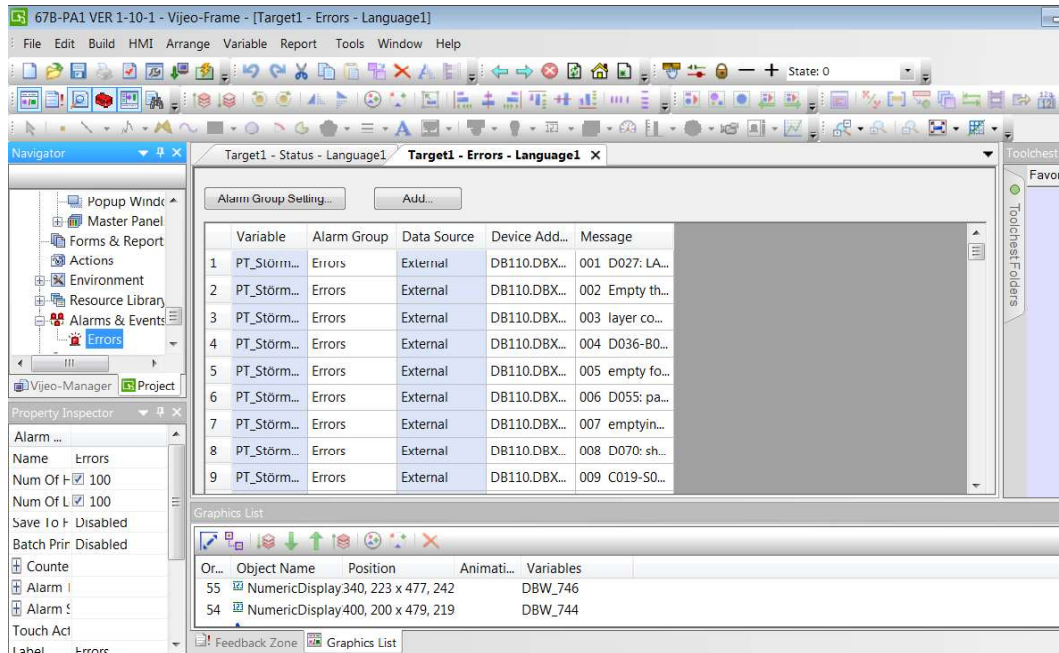


Gambar. 3 Variable AG_OP_Taste_F1

Variable di atas adalah salah satu variable yang terdapat di dalam project ini yang memiliki nama “AG_OP_Taste_F1”. Variable ini memiliki fungsi sebagai memori terhadap button [F1]. Data type yang digunakan adalah tipe “BOOL” atau Boolean, karena tipe ini sesuai dengan cara kerja button [F1] yang hanya menerima sinyal digital (on dan off) saja. Untuk data source pada variable ini menggunakan “External” sehingga variable ini menerima data dengan berkomunikasi dengan equipment yang terhubung, dalam hal ini PLC. Pada variable yang memiliki data type “BOOL” kita tidak perlu mengkonfigurasi IO Settings & Data Scalling karena konfigurasi tersebut hanya diperuntukan untuk data type “Integer”.

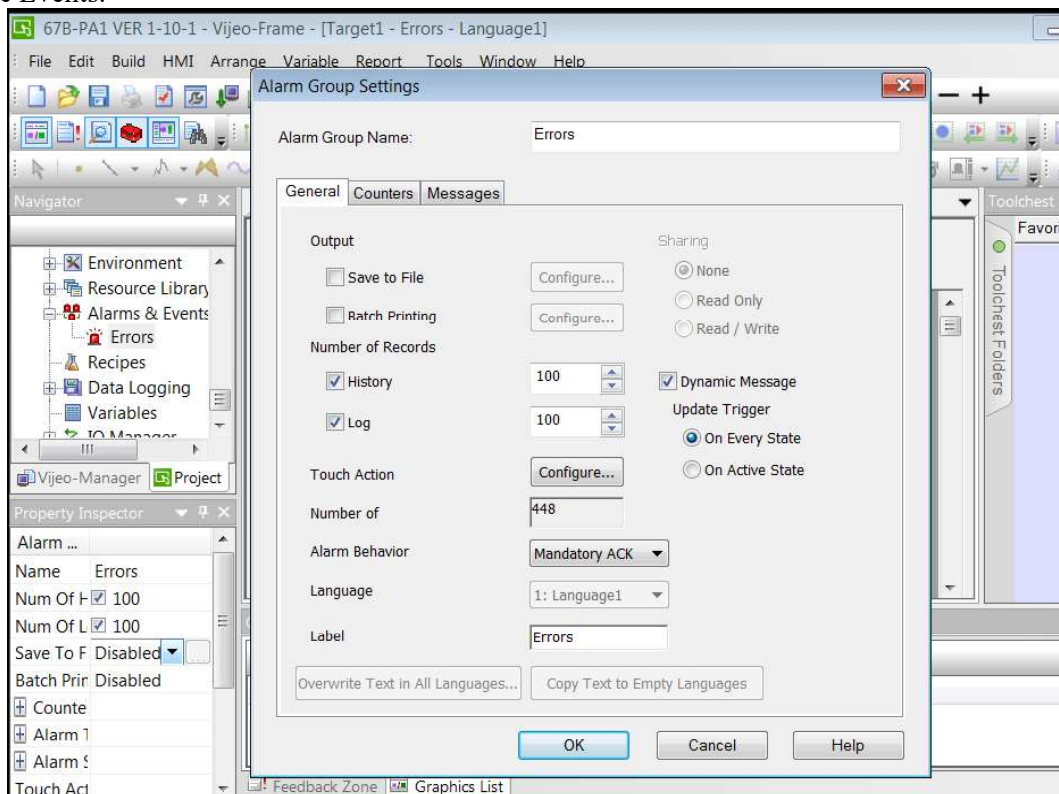
2. Membuat List Alarm

Salah satu komponen penting dalam pemrograman HMI adalah membuat list alarm. List ini berisi semua daftar alarm yang menunjukkan kondisi abnormal dalam equipment yang dikontrol agar memudahkan teknisi dalam melakukan troubleshooting. Berikut adalah list alarm yang digunakan pada project ini.



Gambar 4. List Alarm

Pembuatan list alarm di Vijeo Designer bisa dilakukan dengan membuat Alarm Group pada fungsi Alarms & Events.



Gambar. 5 Konfigurasi Alarm Group

Gambar di atas adalah konfigurasi alarm list yang digunakan di project ini. Pada konfigurasi di atas, yang paling utama adalah konfigurasi “Alarm Behaviour” yang menentukan berapa banyak kondisi yang terjadi pada alarm dan konfigurasi “Dynamic Message” yang memberikan opsi dynamic message ketika alarm terjadi.

Pada project ini, alarm behaviour yang digunakan adalah Mandatory ACK, artinya proses transisi alarm terjadi dari kondisi Active menjadi Acknowledge atau Unacknowledge. Jika alarm sudah pada kondisi acknowledge, maka alarm tersebut dapat berubah menjadi kondisi RTN (Return To Normal) , jika masih dalam kondisi unacknowledge maka harus di acknowledge terlebih dahulu. Sedangkan pada Dynamic

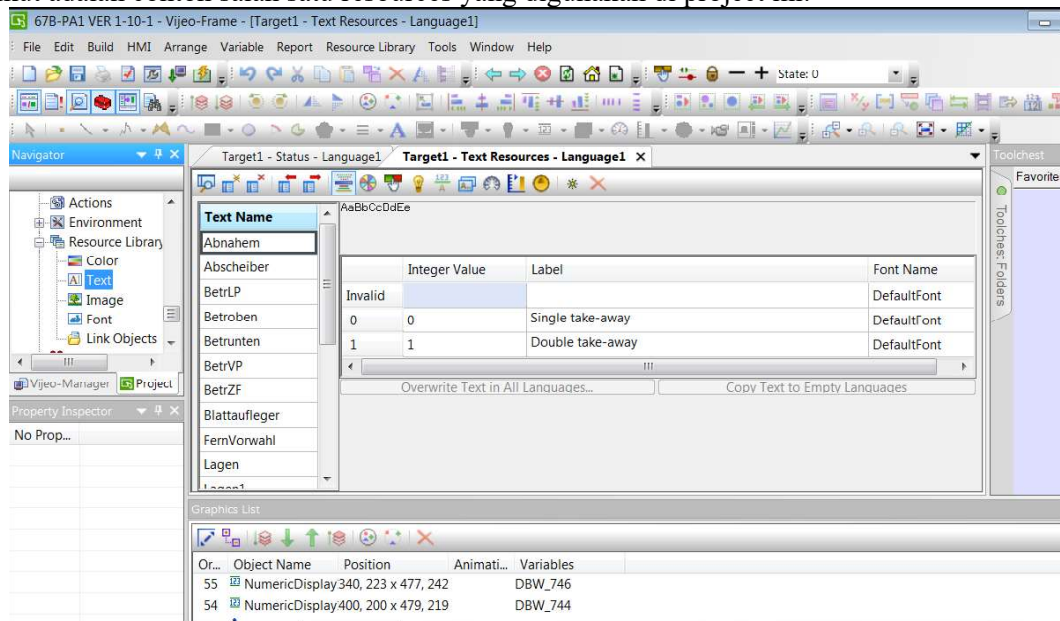
Message kita aktifkan dengan konfigurasi On Every State yang artinya program ini memungkinkan untuk mengirimkan konten dinamis setiap terjadi suatu kondisi alarm pada equipment.

3. Membuat Resources

Resources adalah daftar pesan/label yang mengambil referensi berdasarkan program sebelumnya pada aplikasi Win CC yang memiliki integer value nya masing-masing. Integer value ini berfungsi untuk menentukan pesan mana yang akan muncul ketika variable yang dikaitkan dengan resources mendapatkan integer value. Resources memiliki beberapa jenis, diantaranya :

1. Colour Resources
2. Text Resources
3. Image Resources
4. Font Resources

Berikut adalah contoh salah satu resources yang digunakan di project ini.



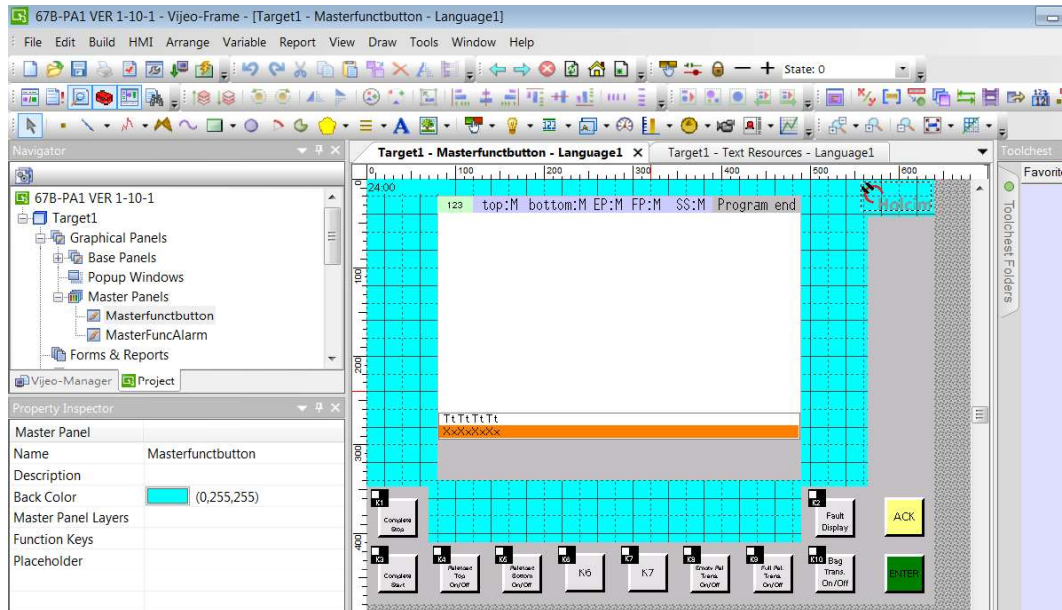
Gambar. 6 Text List

4. Membuat Panel

Selanjutnya yang perlu dilakukan adalah proses pembuatan panel. Panel yang digunakan dalam project ini memiliki 2 jenis, yaitu Master Panel dan Base Panel.

4.1 Pembuatan Master Panel

Master panel yang digunakan di project ini, terdiri dari dua panel, yaitu "MasterFuncbutton" dan "MasterFuncAlarm". Kedua master panel ini adalah sebagai panel yang menjadi template statis setiap panel yang ada di project ini, yaitu untuk panel 110 "Stoermeldungen" dan panel 111 "Stoerpuffer" menggunakan "MasterFuncAlarm" dan sisanya menggunakan "MasterFuncbutton"

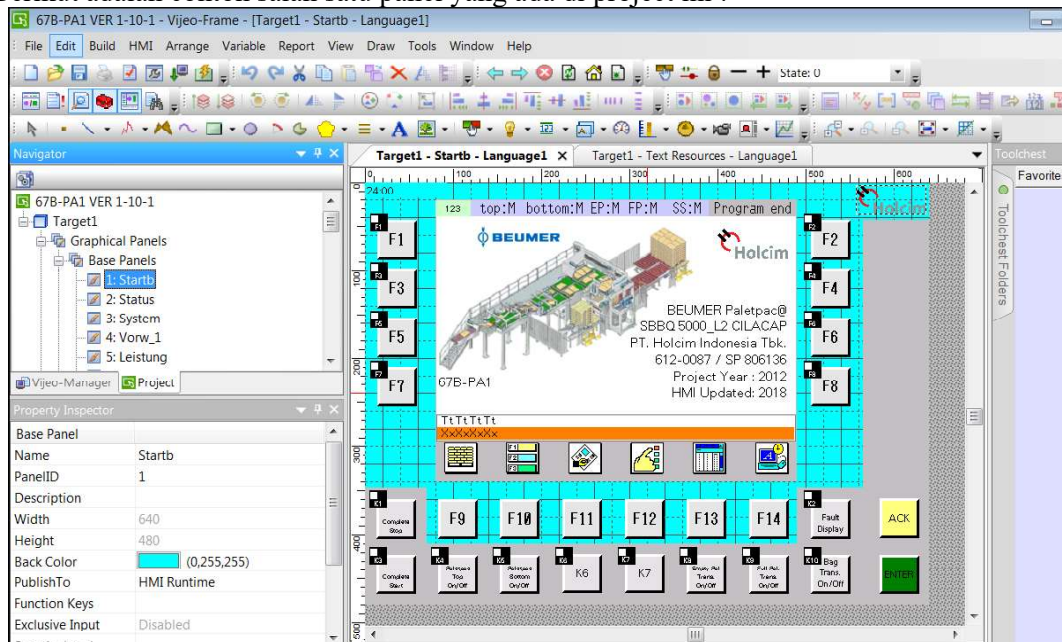


Gambar. 7 Master Panel “MasterFuncButton”

4.2 Pembuatan Base Panel

Jumlah total base panel yang digunakan dalam project ini adalah 34 panel. Masing-masing panel tersebut memiliki komponen penyusun yang berbeda-beda, tergantung dari fungsi setiap panel. Komponen tersebut bisa berupa switch, button, numeric display, message display, image, dll.

Berikut adalah contoh salah satu panel yang ada di project ini :



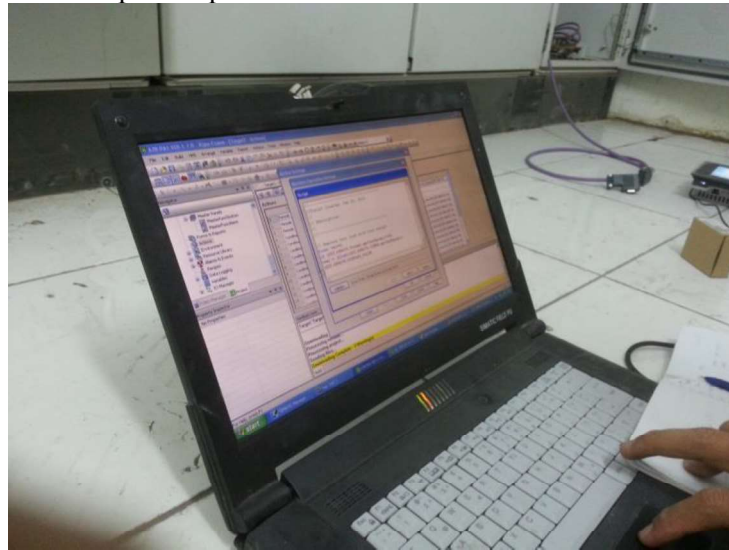
Gambar. 8 Base Panel 1 : Starts

Panel ini memiliki fungsi sebagai tampilan awal HMI yang akan dihadapi oleh operator. Panel ini tersusun dari sebuah gambar yang merepresentasikan Palletizer 67B-PA1 sebagai equipment yang dikontrol olehnya.

5. Tes Logis

Tahap ini adalah tahap quality control. Pada tahap ini dilakukan tes logis terhadap program baru yang sudah dibuat sehingga tidak terjadi kesalahan dan menimbulkan permasalahan baru ketika sudah diaplikasikan. Ketika ditemukan kesalahan pada tahap ini maka akan segera dievaluasi dan dibenahi kembali ke tahap diskusi dan eksekusi sehingga kesalahan yang timbul dapat dihilangkan dan diharapkan tidak akan timbul kembali.

Prosesnya dilakukan dengan meng-online PLC dan dihubungkan dengan HMI yang sudah di input program baru. Dengan melakukan tes terhadap beberapa variable, bisa diketahui apakah konfigurasi variable tersebut sudah sesuai atau masih perlu diperbaiki.



Gambar. 9 Tes Logis HMI Magelis GTO 5310

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian ini maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

- a. Untuk memperbarui HMI Siemens yang sudah obsolete dengan HMI Schneider perlu dilakukan pemrograman ulang dengan menggunakan software Vijeo Designer berdasarkan referensi dari program lama di Win CC.
- b. Penggantian HMI dari Siemens ke Schneider memungkinkan berkurangnya frekuensi trouble yang terjadi di Palletizer 67B-PA1 sehingga produktifitas dapat meningkat.
- c. Dengan dilakukan pemrograman tanpa pihak ketiga, selain mengurangi biaya investasi awal project ini, juga meningkatkan kemampuan dan pengetahuan kami terhadap sistem otomasi ini, sehingga jika sewaktu-waktu terjadi trouble akan lebih memudahkan untuk melakukan troubleshooting.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Schneider Electric. *Vijeo Designer Imstruction Set Help*.
- [2] Schneider Electric. *Magelis HMI GTO Manual*
- [3] Teknofa.2018.Mengenal Hardware PLC Siemens S7-300
<http://www.teknofa.com/2016/06/mengenal-hardware-plc-siemens-s7-300.html> (diakses tanggal 15 Januari 2018 pukul 13.30)

PERAWATAN DAN PERBAIKAN

**PERBAIKAN *BATCH EXTRACTOR* PADA SISTEM PENGEMBALIAN MATERIAL
*SAMPLER RAW MEAL***

Nugroho Dwi Ristanto¹, Seto Tjahyono¹, Atim Setijono²

¹Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp (62-21)7863530

Fax: (62-21)7863530, nugrohodwi.holcim@gmail.com

² PT. Holcim Indonesia Tbk Tuban Plant

Abstrak

Sampler raw meal adalah alat yang berfungsi untuk mengambil material raw meal dan mengirimkannya ke Polab AQC (Polysius Laborat Automatic Quality Control) dengan memanfaatkan tenaga pneumatik. Sampler mengambil material dari air slide 391-AS5 untuk mengetahui kualitas dan komposisi kimia dari material raw meal setelah mengalami pemanasan, penghancuran, pemisahan serta pengangkutan dari raw mill. Sampler terdiri dari mesin pengaduk untuk menghomogenisasi material raw meal, penakar untuk memasukan material raw meal ke kapsul, pengirim kapsul material raw meal yang mengirim menuju ke Polab AQC di laborat, dan batch extractor yang berfungsi untuk mengembalikan material menuju bucket elevator 391-BE1. Pengembalian material di batch extractor itu melalui saluran berupa hose, sementara hose batch extractor terbuat dari bahan karet dan permasalahan yang timbul adalah kebocoran pada hose tersebut. Kebocoran pada hose disebabkan oleh life time dan pengaruh lingkungan. Efek dari kebocoran adalah terjadi tumpahan material yang berakibat terjadi penumpukan, yaitu debu. Efek dari debu akan menimbulkan kejenuhan pada filter kompressor sehingga kompressor menjadi panas. Untuk mengatasi permasalahan diatas maka solusinya adalah melakukan perbaikan dengan cara penggantian pada saluran yang semula dari hose menjadi pipa dengan pertimbangan bahwa vibrasi disekitar saluran kembali rendah sehingga memungkinkan penggantian hose menjadi pipa. Pipa yang digunakan adalah galvanis karena pipa ini murah, kuat, dan mudah digunakan. Pipa ini disambungkan dengan bantuan union sehingga dapat memudahkan ketika perawatan dan penggantian. Setelah dilakukan penggantian saluran kembali dari hose menjadi pipa galvanis dapat menghemat biaya sebesar Rp 6.816.800,- dan peluang kebocoran menjadi kecil sehingga membuat area sampler raw meal menjadi bersih dari tumpukan material dan kompressor aman.

Kata kunci: sampler; raw meal, raw mill, batch extractor; hose.

Abstract

Batch Extractor System Repair Returns Material Raw Meal Sampler— Raw meal sampler is a tool that serves to pick up raw meal material and send to Poly AQC (Polysius Laborat Automatic Quality Control) by utilizing pneumatic power. Sampler takes material from 391-AS5 water slide to know the quality and chemical composition of raw material material after heating, crushing, separating and transporting from raw mill. The sampler consists of a stirring machine to homogenize raw meal material, scrapers to feed raw material material into capsules, raw material feeding capsule sending to AQC Poly in laboratory, and a batch extractor which serves to return material to a 391-BE1 bucket elevator. Return of material in batch extractor through hose channel, while hose batch extractor made from rubber material and problems that arise is leakage at hose. Leakage in the hose is caused by life time and environmental influences. The effect of leakage is a material spill which results in buildup, ie dust. The effect of dust will cause saturation on the compressor filter so that the compressor gets hot. To overcome the above problems then the solution is to make improvements by replacing the original channel from the hose into a pipe with the consideration that the vibration around the channel back low so as to enable the replacement of hose into a pipe. The pipe used is galvanized because it is cheap, powerful, and easy to use. This pipe is connected with union help so it can be easier when care and replacement. After replacing the back channel from the hose to the galvanized pipe can save the cost of Rp 6,816,800, - and the chance of leakage is small so as to make the raw raw sampler area clean from the pile of material and the compressor is safe.

Keyword: sampler; raw meal, raw mill, batch extractor; hose.

1. PENDAHULUAN

Dalam proses pembuatan semen *Portland*, terdapat empat bahan baku utama yang diperlukan yaitu batu kapur, pasir silica, tanah liat, dan pasir besi. Keempat bahan baku tersebut diproses di *Vertical Roller Mill (Raw Mill)*[1] dalam proporsi tertentu. Di *Raw Mill* terjadi proses pengeringan, penggilingan, pemisahan, dan transport. Produk dari *Raw Mill* disebut sebagai *Raw Meal*, yang selanjutnya di homogenisasi dan disimpan di *Blending Silo*. Untuk pengecekan kualitas dari produk tersebut terdapat alat *sampler* untuk mengetahui kualitas dan komposisi kimia di dalam material tersebut.

1.1 Latar Belakang

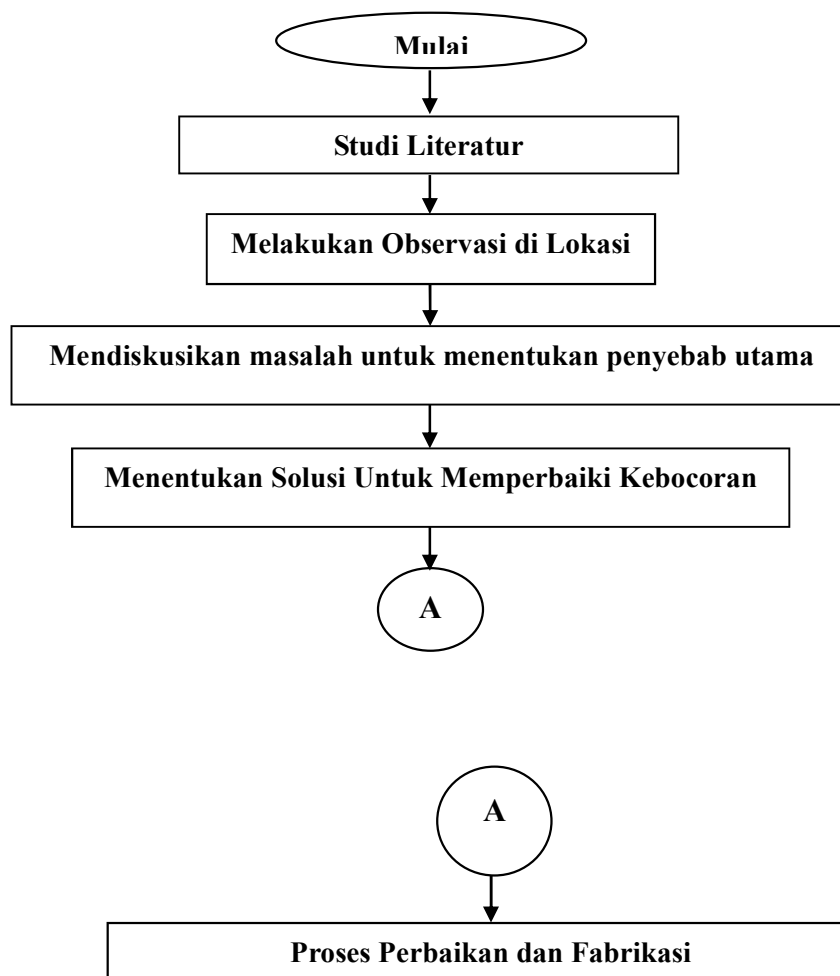
Proses yang terjadi di *raw mill* ada 4 macam yaitu *grinding*, *drying*, *classifying*, dan *transporting*. Produk *raw mill* disebut *raw meal* akan dibawa ke *blending silo* melalui *air slide*. Untuk mengetahui kualitas dan komposisi kimia dari *raw meal* maka dibutuhkan *sampling* material. Proses *sampling* material di Tuban *plant* telah menggunakan berbagai *automatic sampling*. Salah satunya adalah *sampling raw meal*. *Sample* diambil setiap interval tertentu, sekitar 240 detik sekali dan dikomposit perjam kemudian masuk ke kapsul kemudian kapsul tersebut masuk ke Polab AQC setelah itu dilakukan preparasi otomatis oleh mesin Polab untuk diketahui komposisi kimia yang ada didalam material tersebut[2], kemudian material *raw meal* sisa dari *sampling* material akan ditampung pada *batch extractor* setelah itu material dikembalikan menuju *bucket elevator* 391 BE-1 melalui *hose batch extractor*[3]. Permasalahan yang terjadi di *batch extractor* adalah sering bocornya pada *hose* pengembali material *raw meal* dari *Sampler* menuju ke *bucket elevator*. Karena *hose* terbuat dari material karet kemudian menjadi retak retak karena *life time* dan panas dari lingkungan sehingga terjadi kebocoran dan menyebabkan material *raw meal* keluar dan membuat lingkungan kotor serta menyumbat filter kompressor sehingga membuat kompressor panas. Hal yang dilakukan untuk perbaikan *hose* yang bocor adalah menambal menggunakan silikon namun hal tersebut tidak efektif dan untuk mengganti *hose* baru membutuhkan *cost* yang mahal, waktu yang lama dan barangnya harus impor dari Jerman sehingga menyusahkan dalam proses penggantian.

1.2 Tujuan

1. Menentukan penyebab utama kerusakan pada saluran pengembalian di unit *sampler raw meal*
2. Mengurangi frekuensi *downtime* dan biaya pemeliharaan (*cost down*)

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan, digambarkan dengan diagram alir dibawah ini :



Gambar.1 Diagram Alir Metode Penelitian

2.1 Mulai

Tugas akhir ini dapat dikatakan mulai apabila judul telah ditentukan dan proposal telah disusun.

2.2 Studi Literatur

Melakukan studi literatur yang berkaitan dengan tugas akhir, contohnya *Sampler raw meal* dan pipa. Pencarian informasi dilakukan melalui media internet dan buku manual yang berkaitan dengan tugas akhir.

2.3 Melakukan Observasi di Lokasi

Melakukan observasi di lokasi pada area tempat tugas akhir akan diaplikasikan. Dalam hal ini area yang dimaksud adalah area *sampler raw meal* 391-SM1. Observasi yang dilakukan adalah dengan menganalisa penyebab kebocoran material *raw meal* saat proses pengembalian material ke *bucket elevator* (BE).

2.4 Mendiskusikan masalah untuk menentukan penyebab utama

Berdasarkan hasil observasi di lapangan, maka dilakukan diskusi mengenai masalah tersebut menggunakan Root Cause Analisa (RCA) tentang kebocoran material *raw meal* saat proses pengembalian material ke bucket elevator. Diskusi dilakukan dengan melibatkan pembimbing di lapangan, dalam hal ini *maintenance laboratory department* di PT Holcim Indonesia Tbk Pabrik Tuban, dan dosen pembimbing tugas akhir dari Politeknik Negeri Jakarta.

2.5 Menentukan Solusi Untuk Memperbaiki Kebocoran

Modifikasi saluran pengembali *sampler raw meal* dilakukan dengan cara pemilihan ulang jenis material *hose* dengan menggunakan pipa galvanis. Pipa galvanis dipilih karena bahannya terbuat dari baja yang dilapisi dengan seng yang kuat dan tahan terhadap panas sehingga dapat menggantikan *hose* sebelumnya terbuat dari karet yang tidak tahan terhadap perubahan suhu lingkungan dan relatif *life time* yang pendek. Penggantian tersebut menjadikan pipa lebih awet dan mengurangi kemungkinan keluarnya material pada pipa tersebut. Dengan berkurangnya kemungkinan kebocoran material pada pipa tersebut, sehingga membuat area *sampler* menjadi bersih dan mengurangi kerugian akibat keluarnya material *raw meal*.

2.6 Proses Perbaikan dan Fabrikasi

Evaluasi dilakukan pada kebocoran *hose batch extractor*. Sebelum dilakukan modifikasi pada *hose batch extractor*, *hose* sering retak retak dan membuat material *raw meal* keluar sehingga material *raw meal* menumpuk, membuat lingkungan kotor, dan debu berhamburan menyebabkan penyumbatan filter kompresor sehingga membuat kompresor panas. Tetapi setelah dilakukan perbaikan dengan cara modifikasi pada saluran pengembali material menggunakan pipa galvanis, lingkungan menjadi bersih. Selain itu, frekuensi *cleaning* pada area *sampler* berkurang.

2.7 Pengujian

Jika data yang diperoleh dari modifikasi saluran pengembali material tidak benar, maka kembali ke poin empat yaitu Mendiskusikan masalah untuk menentukan penyebab utama. Tetapi jika data yang diperoleh tersebut sesuai dengan luaran yang diharapkan, maka dilanjutkan ke langkah analisa biaya.

2.8 Analisa Biaya

Analisa biaya dilakukan untuk menentukan seberapa besar saving cost yang akan didapatkan setelah dilakukan modifikasi saluran pengembali material *raw meal*.

2.9 Kesimpulan

Kesimpulan didapatkan dari hasil evaluasi yang diperoleh setelah dilakukannya modifikasi pada saluran pengembali material dan tercapainya tujuan dari tugas akhir ini.

2.10 Selesai

Tugas akhir ini dapat dikatakan selesai apabila laporan tugas akhir telah disusun, sidang tugas akhir telah dilakukan, nilai akhir tugas akhir yang didapatkan memenuhi syarat, dan laporan tugas akhir telah direvisi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemilihan Jenis Bahan Saluran Pengembali Material *Raw Meal*

Pemilihan jenis bahan saluran pengembali untuk mengembalikan material *raw meal* dari *batch extractor sampler raw meal* menuju ke *bucket elevator* adalah harus terdapat label *ATEX* karena merupakan area kerja dengan resiko ledakan yang tinggi, disamping itu ada beberapa indikator yang disesuaikan dengan kebutuhan diarea tersebut dan disesuaikan dengan jenis-jenis valve yang ada. Berikut hasil komparasi beberapa valve yang disesuaikan dengan indikator yang telah ditentukan :

Tabel 1. Komparasi Jenis Jenis Saluran pengembali

Jenis Saluran pengembali Indikator	<i>Flexible hose</i>	Pipa galvanis	Stainless	PVC
Kekuatan	4	5	5	2
Kemudahan Pengerjaan	5	5	2	5
Ketahanan Terhadap Suhu	4	4	4	2
Ketahanan Terhadap Aus	4	4	4	3
Harga	1	4	3	5
Total	18	22	18	17

1 : Very Bad 2 : Bad 3 : Medium 4 : Good 5 : Very Good

Berdasarkan tabel komparasi yang sudah dibuat, pipa galvanis dipilih untuk dipasang pada saluran pengembali material *raw meal*. Pipa galvanis dipilih untuk dipasang karena kuat, ringan, murah, dan mudah ketika proses perbaikan dan perawatan.

3.2 Bentuk Saluran Pengembali Material *Raw Meal* Sebelum Dilakukan Modifikasi

Dilakukan observasi di lokasi *sampler raw meal* saluran kembali material *raw meal*. Ditemukan bahwa *hose* mengalami kebocoran Berikut bentuk *hose* sebelum dilakukan modifikasi:



Gambar 2 Bentuk saluran pengembali material *raw meal* sebelum modifikasi
Gambar 2 di atas menerangkan bentuk asli saluran pengembali material *raw meal* sebelum modifikasi yang berbentuk *flexible hose*. *Hose* ini memiliki spesifikasi memiliki panjang 20 meter, bekerja pada tekanan maksimal 12 bar dan suhu -35°C to $+80^{\circ}\text{C}$, tahan terhadap material abrasif.

3.3 Dampak yang Terjadi Ketika *Hose* Bocor

Sebelum dilakukan modifikasi pada saluran pengembali material *raw meal*, *hose* tersebut sering bocor. Dampak yang ditimbulkan adalah sebagai berikut:



Gambar 3 Material yang keluar dari *hose* dan mengotori lingkungan
Gambar 3 di atas menerangkan ketika *hose* bocor dan banyak material yang tercecer di lantai, sehingga membuat area ini sangat kotor sehingga membutuhkan waktu dan man power untuk cleaning dan membuat filter kompressor sering jenuh.

3.4 Kerugian Biaya Ketika Saluran Pengembali Material *Raw Meal* Bocor

Kerugian yang dialami ketika saluran pengembali material *raw meal* bocor adalah sebagai berikut:

1. Gaji kontraktor sebulan : Rp 2.050.000,- / 160 jam
Jadi biaya kontraktor untuk bekerja perjam adalah Rp 12.812,-
Untuk biaya yang dihabiskan untuk *cleaning area sampler raw meal* (satu bulan):
Untuk satu kali *cleaning* : 4 jam x 2 main power x Rp 12.812,- / per jam
= Rp 102.496,- untuk 2 *main power*
Jadi bila dalam satu bulan terdapat 7 kali *cleaning area sampler raw meal* maka menghabiskan *cost* sebesar Rp 717.472,-
2. biaya penggantian filter kompressor jenuh karena hamburan *raw meal* :
untuk sekali penggantian filter kompressor menghabiskan *cost* sebesar Rp 4.300.000,-

3. Harga per ton raw meal : Rp 44.000,- / ton
Siklus sampling : Tiap 1 jam
Kebocoran : 9 kg tiap satu kali sampling
Kerugian :
9 kg/jam x 24 jam = 216 kg
216 kg = 0,216 ton x 30 hari = 6,48 ton/ bulan
6,48 ton x Rp 44.000 = Rp 285.120,-
Jadi, kerugian yang diakibatkan dari kebocoran *hose* mengakibatkan kerugian sebesar ± Rp 285.120,- untuk sebulan kebocoran. **Jadi Total kerugian cost untuk kebocoran saluran pengembali material raw meal adalah sebesar Rp 5.302.592,-**

3.5 Bentuk Saluran Pengembali Material Raw Meal Setelah Dilakukan Modifikasi

Setelah mengetahui kerugian-kerugian yang terjadi jika *hose* sering bocor, maka dilakukan modifikasi pada saluran kembali material. Bentuk modifikasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 4 Bentuk saluran pengembali material raw meal setelah modifikasi

Gambar 4 di atas menerangkan saluran pengembali material raw meal dimodifikasi menggunakan pipa galvanis dan hasilnya didapatkan bahwa area *sampler raw meal* menjadi bersih karena tidak adanya efek dari kebocoran saluran tersebut.

Tabel 2 Frekuensi *Cleaning Area Sampler Raw Meal*

Bulan	Frekuensi <i>Cleaning</i>
Juli -17	9
Agustus -17	6
September -17	8
Oktober -17	9
November - 17	7
Desember -17	0
Januari -18	0
Februari -18	1
Maret - 18	1
April - 18	1

Setelah Modifikasi

Tabel diatas menerangkan setelah dilakukan modifikasi pada bulan November akhir terjadi penurunan frekuensi pembersihan pada area *sampler raw meal* dari 7 kali menjadi tidak ada pembersihan pada bulan Desember. Hal ini membuktikan bahwa modifikasi yang dilakukan berhasil [4].

3.6 Bahan Dan Biaya Modifikasi

Bahan yang digunakan untuk modifikasi ada 2, yaitu : pipa galvanis digunakan untuk membuat saluran kembali material raw meal dan *union* (sambungan pipa) digunakan untuk menggabungkan pipa galvanis. Pemilihan *union* digunakan untuk menggabungkan pipa dikarenakan untuk memudahkan dalam perawatan dan penggantian pipa. Berikut biaya yang dikeluarkan pada saat modifikasi:

Tabel 3 Biaya modifikasi

No	Nama Item	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga	
1	Pipa galvanis 1½"	1	ea	Rp 275.000,-	Rp 275.000,-	
2	Union pipe	2	ea	Rp153.500,-	Rp 307.000,-	
3	Cat abu-abu	1	ea	Rp 35.000,-	Rp 35.000,-	
4	Thinner	1	ea	Rp 16.200,-	Rp 16.200,-	
5	Elektroda	1	ea	Rp 22.000,-	Rp 22.000,-	
6	Batu Gerinda	1	ea	Rp 13.480,-	Rp 13.480,-	
7	Man Power				Rp 698.100,-	
	Total Pengeluaran					Rp 1.366.300,-

3.7 Saving Cost Setelah Ada Modifikasi

Setelah dilakukan modifikasi saluran kembali material *sampler raw meal*, maka didapatkan biaya penghematan karena mengganti dengan material yang lebih murah dan mudah untuk didapatkan:

Tabel 4 Biaya penggantian sebelum modifikasi

No	Nama Item	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga	
1	Hose Semperit 1½"	1	Ea	Rp 4.185.000,-	Rp 4.185.000,-	
2	Connector hose	2	Ea	Rp 1.150.000,-	Rp 3.300.000,-	
3	Man Power				Rp 698.100,-	
	Total Pengeluaran					Rp 8.183.100,-

Tabel 5 Biaya penggantian modifikasi

No	Nama Item	Jumlah	Satuan	Harga	Total Harga	
1	Pipa galvanis 1½"	1	Ea	Rp 275.000,-	Rp 275.000,-	
2	Union pipe	2	Ea	Rp153.500,-	Rp 307.000,-	
3	Cat abu-abu	1	Ea	Rp 35.000,-	Rp 35.000,-	
4	Thinner	1	Ea	Rp 16.200,-	Rp 16.200,-	
5	Elektroda	1	Ea	Rp 22.000,-	Rp 22.000,-	
6	Batu Gerinda	1	Ea	Rp 13.480,-	Rp 13.480,-	
7	Man Power				Rp 698.100,-	
	Total Pengeluaran					Rp 1.366.300,-

Dari kedua tabel tersebut kita bisa melihat manfaat yang didapatkan karena adanya modifikasi tersebut dari segi penurunan biaya penggantian *hose* dengan pipa sebesar **Rp 6.816.800,-**

3.8 Menentukan Perhitungan *Pressure Supplai container*

Diketahui:

Diameter pipa galvanis out = 48,26 mm ; tebal = 3,68mm

Panjang total hose menuju bucket elevator (BE) = 12,7 meter

ρ raw meal: 1208 kg/L → 1.208.000 kg/m³ berdasarkan ASTM 125(*Bulk Density*)

Viskositas absolut udara: 1,983 x 10⁻⁵ N/m²

Press limit: 3,9 bar

Pressure udara: 6-8 bar \rightarrow 800.000 N/m²

Volume Container : 32 L

Power 2,5 KVA = 2 KW \rightarrow 2.000 W

$$\text{Daya} = P \times Q \dots\dots\dots[\text{Persamaan 1}]$$

$$2.000 \text{ W} = 800.000 \text{ N/m}^2 \times Q$$

$$Q = \frac{2.000}{800.000} = 0,0025 \text{ m}^3/\text{s} = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

• **Mencari Volume:**

$$Q = V \times A \dots\dots\dots[\text{Persamaan 2}]$$

$$2,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = V \times \pi \times r^2$$

$$= V \times 3,14 \times (24,13 \times 10^{-3})^2$$

$$0,0025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V = \frac{0,0025 \text{ m}^3/\text{s}}{0,001828} = 1,3676 \text{ m}^3/\text{s}$$

• **Menghitung Headloss:**

H (horizontal):

$$\frac{4 \times f \times l \times v^2}{2 \times g \times d} \dots\dots\dots[\text{Persamaan 3}]$$

$$= \frac{4 \times 40,1 \times 6,35 \text{ m} \times (1,36 \times 10^{-3})^2}{2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,4823}$$

$$= \frac{0,1883}{9,646} = 1,95 \times 10^{-4} \text{ m}$$

H (vertikal):

$$\frac{4 \times f \times l \times v^2}{2 \times g \times d} \dots\dots\dots[\text{Persamaan 3}]$$

$$= \frac{4 \times 160,4 \times 6,35 \text{ m} \times (1,36 \times 10^{-3})^2}{2 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 0,4823}$$

$$= 7,8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

• **Menghitung Reynold:**

$$RE = \frac{\rho \times v \times d}{\mu} \dots\dots\dots[\text{Persamaan 4}]$$

$$= \frac{1,208 \times 10^6 \times 1,367 \times 0,048}{1,983 \times 10^{-5}}$$

$$RE = 0,399$$

$$F \text{ Vertikal} = \frac{64}{0,399} = 160,4$$

$$F \text{ Horizontal} = \frac{16}{0,399} = 40,1$$

• **Menghitung Kerugian Belokan:**

$$Hm = k = \frac{v^2}{2 \times g} \dots\dots\dots[Persamaan 5]$$

$$k = \left[0,131 + 1,847 \times \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \times \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5} \right]$$

$$= \left[0,131 + 1,847 + \left(\frac{0,4823}{0,405} \right)^{3,5} \times \left(\frac{90}{90} \right)^{0,5} \right]$$

$$= [0,131 + 1,847 + 1,838 \times 1] = 3,816$$

$$Hb = \frac{k \times (1,36 \times 10^{-3})^2 m/s}{2 \times 10 m/s^2} \dots\dots\dots[Persamaan 6]$$

$$= 3,52 \times 10^{-7} m$$

$$H_{total} = H + H_f + H_b \dots\dots\dots[Persamaan 7]$$

$$= 12,7 m + 1,95 \times 10^{-4} + 7,8 \times 10^{-4} + 3,52 \times 10^{-7}$$

$$= 12,789 meter$$

- Menghitung Pressure Suplai Container:

$$\rho \times g \times H_{total} = 1.208 \frac{kg}{m^3} \times 10 m/s^2 \times 12,789 m \dots\dots\dots[Persamaan 8]$$

$$= 153,426872 Pa = 1,534 bar$$

Jadi kesimpulannya untuk menggerakkan material *raw meal* didalam *container* dibutuhkan *pressure* sebesar 1,534 bar dan *pressure* dalam pipa dapat menampung sebesar 8 bar maka material *raw meal* di *container* dapat terdorong dengan aman.

4. KESIMPULAN

- Penyebab sering bocornya *hose batch extractor* adalah karena *hose* terbuat dari karet sehingga rentan terhadap perubahan suhu lingkungan dan *life time* maka *hose* mengalami retak retak.
- Setelah modifikasi dilakukan material tidak mudah keluar dari *hose*, sehingga area *sampler raw meal* menjadi lebih bersih dikarenakan pemilihan ulang jenis bahan dari *hose batch extractor* yang baru yaitu pipa galvanis, desain tersebut mampu menghilangkan salah satu sumber yang dapat mengotori area sekitar
- Setelah modifikasi dilakukan frekuensi *cleaning area sampler raw meal* mengalami penurunan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih di ucapkan kepada Bapak SetoTjahyono, S.T, M.T., Bapak Saprone, karyawan dan kontraktor PT. Holcim Indonesia Tbk Pabrik Tuban atas kerja samanya di kegiatan ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Polysius, *Raw mill* Quadropol Manual Book, 2013
- [2] Polysius, Plant-side automatic unit PBA-U/S, Sampler Operating Manual, 2012.
- [3] Polysius, Plant-side automatic unit PBA-U/S, Sampler Spare Part, 2012.
- [4] <http://hc-tb-srv/km/>

**PERBAIKAN POSISI AIR BLASTER UNTUK MENGURANGI COATING PADA KILN
INLET PT HOLCIM INDONESIA Tbk.**

Handitya Izky Permata Putra¹, Seto Tjahyono¹, Buddy Cahyono²

¹ Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp: (62-21) 7863530,

Fax: (62-21) 7863530, handityaizky.holcim@gmail.com

²[PT. Holcim Indonesia Tbk.](#)

Abstrak

Terdapat 2 proses pembuatan semen, yaitu proses basah (*wet process*) dan proses kering (*dry process*). Proses pembuatan semen di PT Holcim Indonesia Tbk menggunakan proses kering (*dry process*). Proses pembuatan semen tersebut akan melalui proses pembakaran awal (*preheater*) menuju pembakaran (*rotary kiln*). *Kiln inlet* merupakan tempat yang menghubungkan atau tempat masuknya material dari *preheater* ke *kiln*. Di *kiln inlet* terjadi penggumpalan material (*coating*) pada dinding *kiln inlet*. *Air blaster* menjadi solusi untuk mengurangi penggumpalan material (*coating*) yang terjadi di dinding *kiln inlet* dengan menembakkan udara bertekanan pada dinding *kiln inlet*. Namun dengan jumlah *air blaster* sebelumnya masih menimbulkan banyak gumpalan pada dinding *kiln inlet*. Apabila penggumpalan ini rontok akan menghasilkan produk clinker dengan kualitas buruk atau tidak sesuai standar, sehingga mengakibatkan *kiln* berhenti beroperasi. Biaya proses pembakaran awal *kiln* tidaklah murah, biaya yang dibutuhkan hampir 200 sampai 300 juta rupiah, tergantung jumlah bahan bakar yang dikeluarkan untuk mencapai suhu yang sesuai. Solusi untuk masalah ini adalah dengan menambah jumlah dan merubah lokasi *air blaster* di dinding *kiln inlet*. Metode yang akan dilakukan yaitu dengan melakukan *analisa dan modifikasi* dari sisi *condition base monitoring* yaitu analisa *thermography*. *Modifikasi* kali ini dilakukan dengan analisa *thermography* untuk menentukan lokasi *air blaster* yang sesuai dengan kondisi saat ini. Setelah analisa dilakukan dan ditentukan lokasinya, maka langsung diaplikasikan dan dikerjakan. Hasil dari modifikasi dianalisa kembali dan hasilnya menunjukkan tanda tand tidak ada masalah, suhu permukaan normal, tidak terlalu panas maupun terlalu dingin. Selama 3 bulan setelah modifikasi dilakukan, tidak ditemukan masalah gumpalan material (*coating*) yang rontok pada *kiln inlet* yang berujung pada *kiln* berhenti beroperasi.

Kata kunci : *Air blaster , thermography, coating*

Abstract

There are 2 cement making process, wet process and dry process. The cement making process at PT Holcim Indonesia Tbk uses dry process. The process of making the cement will be through the process of initial burning (*preheater*) to burning (*rotary kiln*). *Kiln inlet* is a place that connects or places the entry of material from *preheater* to *kiln*. In the inlet *kiln* there is a material coating on the inlet *kiln* wall. The water blaster becomes a solution to reduce the coatings that occur on the inlet wall of the *kiln* by firing the pressurized air on the inlet *kiln* wall. However, with the previous amount of water blaster still cause a lot of blobs on the wall of the inlet *kiln*. If this clumps fall out will produce clinker products with poor quality or not standard, thus causing the *kiln* to stop operating. The cost of the initial *kiln* process is not cheap, the required cost is almost 200 to 300 million rupiah, depending on the amount of fuel spent to reach the appropriate temperature. The solution to this problem is to increase the number and change the location of the blaster water on the inlet wall of the *kiln*. The method that will be done is by performing analysis and modification of the condition base condition monitoring ie *thermography* analysis. This modification is done by *thermography* analysis to determine the location of the blaster water in accordance with the current conditions. After the analysis is done and its location is determined, it is directly applied and done. The results of the modifications are re-analyzed and the results show no signs of trouble, normal surface temperature, neither too hot nor too cold. For 3 months after the modification was done, there was no problem of material lumps (*coating*) that fell on the inlet *kiln* that culminate in the *kiln* operation stopped.

Keywords : *Air blaster, Thermography, coating*

1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan semen di PT Holcim Indonesia Tbk. menggunakan proses kering (*dry process*), dalam proses kering (*dry process*) terdapat proses pemanasan awal (*preheating*), proses tersebut merupakan proses pembakaran awal untuk material yang akan menuju tanur putar (*kiln*). Alat utama yang digunakan untuk proses ini adalah *pre-heater*. Material yang diproses di *pre-heater* akan menuju ke proses selanjutnya yaitu Pembakaran (*firing*) [1]. Alat utama yang digunakan adalah tanur putar atau *rotary kiln*. Diantara kedua proses tersebut terdapat alat penghubung yang disebut *kiln inlet*.

LATAR BELAKANG

Kiln inlet bertugas sebagai jalur penghubung antara proses pemanasan awal (*preheating*) dan proses pembakaran (*firing*), material panas yang sudah dipanaskan di *pre-heater* akan menuju ke tanur putar (*rotary kiln*). Di *kiln inlet* material yang akan masuk ke *rotary kiln* mengalami pengurangan umpan materialnya (*kiln feed*). Setelah ditelusuri *kiln inlet* mengalami *coating* material. Penggumpalan material (*coating*) adalah suatu fenomena mengeras atau mengeraknya suatu material di area atan yang dilewati material. *Coating* menyebabkan menurunnya volume material yang masuk ke kiln, dan juga menyebabkan material yang tidak mencapai titik panasnya. Untuk mengatasi masalah tersebut terdapat *air blaster* sebagai alat untuk merontokkan gumpalan (*coating*) material. Dalam riwayat alat tersebut, terdapat 22 *air blaster* pada *kiln inlet* [2]. Namun sudah ditambah menjadi 27 *air blaster*. Dengan adanya *air blaster* ini penggumpalan material (*coating*) berkurang dan membantu proses masuknya material menuju *rotary kiln*.

Namun dengan jumlah *air blaster* yang sudah terpasang di *kiln inlet* kurang efisien dikarenakan masih banyak area di *casing kiln inlet* suhunya yang lebih rendah dari yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat *coating* di beberapa titik di *kiln inlet*. Yang berakibat pada proses pembuatan semen yang kurang sempurna akibat *coating* material di *inlet rotary kiln*. Proses pembuatan semen yang kurang sempurna ini merugikan perusahaan karena energi panas yang dibutuhkan lebih banyak, yang berujung dengan biaya produksi semen menjadi membengkak.



Gambar.1 Kondisi Dinding Kiln Inlet

Oleh sebab itu diperlukan perbaikan posisi *air blaster* pada *kiln inlet* untuk meminimalkan kerugian yang ditimbulkan.

Perbaikan dilakukan dengan Analisa *Thermography*. *Infrared thermography* merupakan suatu bentuk kemajuan ilmu pengetahuan dimana alat ini (kamera) menganalisa informasi *thermal* suatu objek tanpa kontak dengan objek tersebut yang berupa gambar *thermal* [3]. Gambar *thermal* dari

kamera pada *kiln inlet* akan menunjukkan perbedaan suhu permukaanyang menjadi acuan, agar kerugian yang ditimbulkan dapat diminimalkan.

TUJUAN

Adapun tujuan dari perbaikan posisi *air blaster* pada *kiln inlet* antara lain :

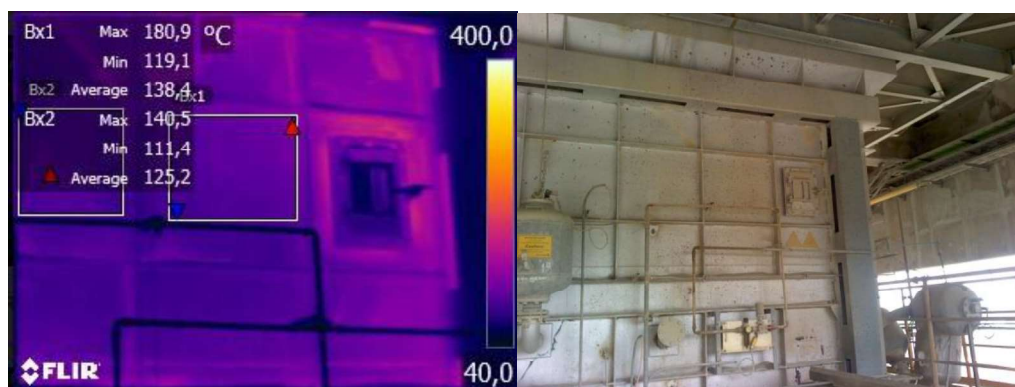
1. Memberikan solusi dari masalah *coating* pada *kiln inlet*.
2. Mengoptimalkan udara bertekanan yang ditembakkan pada *kiln inlet*.
3. Mencegah penumpukan *coating* pada *kiln inlet*.

2. METODE PERBAIKAN

Pada tahap ini dilakukan observasi, identifikasi masalah, kebutuhan, survey dan pengumpulan data yang berkaitan dengan kebutuhan yang diperlukan dalam perbaikan posisi *air blaster* pada *kiln inlet*. Dilakukan juga pengukuran lokasi, studi buku manual untuk mengetahui besaran tekanan yang dibutuhkan serta diskusi dengan *supervisor* dan wawancara kepada *process engineering team member* yang bertanggung jawab diarea tersebut untuk mendapatkan informasi bagaimana kondisi *coating* pada *kiln inlet* sekarang. Diskusi dengan *supervisor Preventive Maintenance* untuk menentukan posisi *air blaster* sesuai acuan dengan gambar Analisa *Thermography* di area *kiln inlet* dengan mempertimbangkan nilai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Melakukan survey lapangan serta observasi dengan supervisi mengenai standar *air blaster* yang sesuai dengan area yang akan diperbaiki.

3. HASIL & PEMBAHASAN

Dari hasil observasi yang dilakukan selama masa spesialisasi di Departemen *Maintenance Reliability Preventive Maintenance* PT.Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Tuban. Ditemukan kendala saat rotary kiln beroperasi yaitu timbulnya gumpalan material yang berlebih menempel pada dinding kiln inlet yang berpotensi rontok. Untuk mengatasi masalah gumpalan material digunakan air blaster sebagai alat untuk menenmbakkan udara bertekanan pada kiln inlet. Berdasarkan buku manual dan flowsheet terdapat 22 air blaster di kiln inlet[2]. Namun gumpalan masih terjadi dan apabila rontok dapat mengakibatkan rotary kiln stop beroperasi. Berdasarkan dengan flowsheet yang ada dilakukan perbaikan posisi air blaster pada kiln inlet. Perbaikan dilakukan dengan Analisa *Thermography* dimana gambar *infrared* dari kamera pada *kiln inlet* terlihat perbedaan suhu permukaanyang menjadi acuan. Berikut salah satu hasil Analisa awal sebelum dilakukan perbaikan pada Gambar.3a dibawah ini



Gambar.2 Kondisi dinding kiln inlet

Gambar di atas menunjukkan kondisi dinding kiln inlet yang terdapat *coating* yang menempel di dalamnya. Terlihat dalam gambar thermal dinding kiln inlet saat beroperasi yaitu terendah 119°C dan tertinggi 180°C[4]. Temperatur permukaan yang seharusnya terdapat di dinding kiln inlet adalah

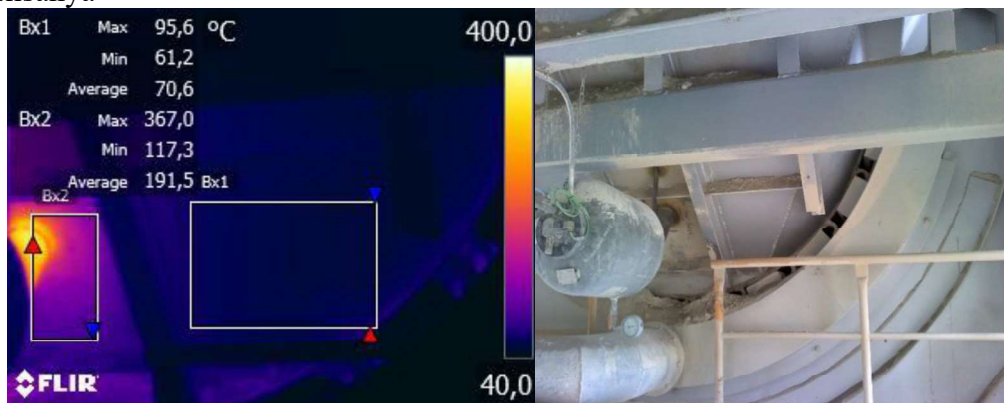
sekitar $>200^{\circ}\text{C}$ [5]. Hal ini menunjukkan bahwa material *coating* dapat menurunkan suhu permukaan akibat melapisi dinding *kiln inlet*.

3.1 Analisa Posisi Air Blaster

Observasi dilakukan dengan metode *thermography*. Analisa suhu permukaan pada *kiln inlet* dilakukan. Hasil dari data gambar tersebut digunakan sebagai acuan untuk melakukan perbaikan. Pada *kiln inlet* terdapat 3 lantai, tiap lantai mempunyai titik lokasi *air blaster* masing-masing.

1. Analisa Lantai 1

Pada lantai satu hanya ada 1 air blaster, di bagian belakang *kiln inlet*[2]. Berikut gambar analisisnya

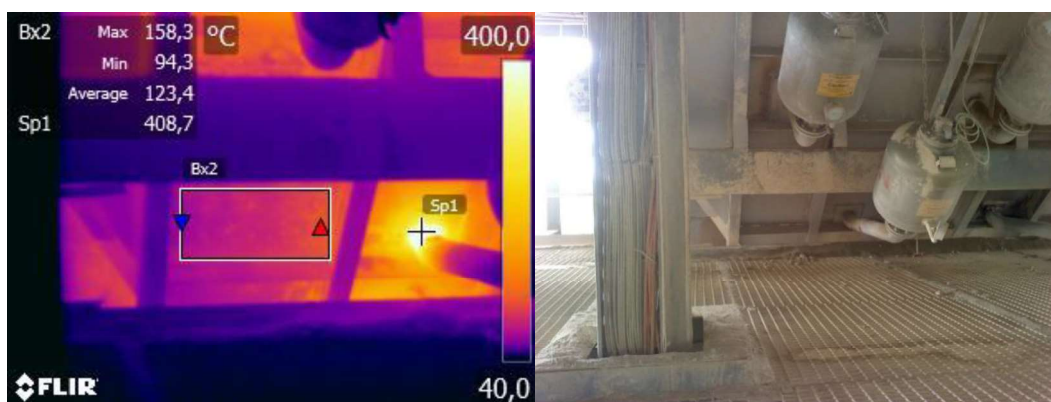


Gambar.3 Air blaster lantai 1 *kiln inlet*

Berdasarkan Gambar.3 terlihat bahwa suhu pada *nozzle* baik, akan tetapi pada sisi sebaliknya menunjukkan nilai temperature yang cukup rendah. Akan lebih bagus apabila disisi sebelah ditambah lagi air blaster, namun kembali pada lokasi yang kurang memungkinkan maka air blaster tidak bisa ditambahkan dan hanya diperbaiki saja.

2. Analisa Lantai 2

Terdapat 9 *air blaster* pada lantai 2, yaitu 7 *air blaster* pada bagian belakang *kiln inlet*, dan masing-masing 1 *air blaster* pada sisi kiri dan kanan *kiln inlet*[2], seperti yang terlihat pada Gambar.4.

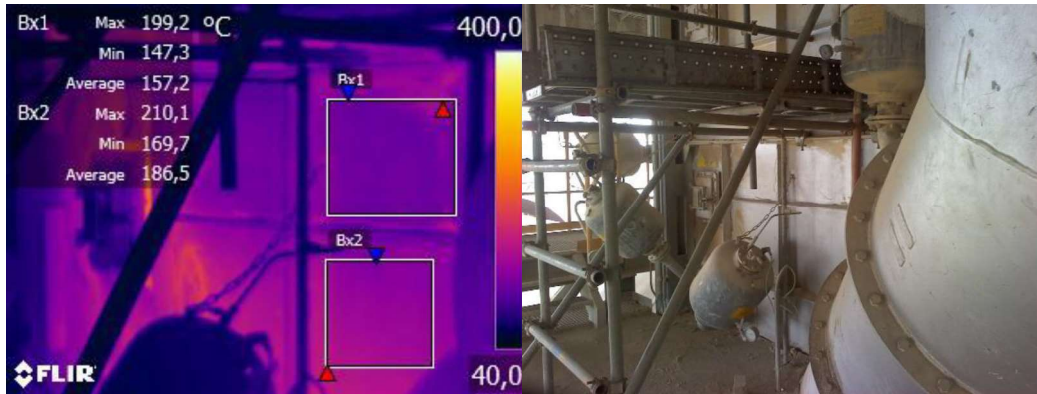


Gambar.4 Air blaster lantai 2 *kiln inlet*

Kondisi *air blaster* dan suhu permukaan pada lantai 2 sama seperti lantai 1, tidak ada masalah dengan hasil *Analisa thermography*-nya, suhu permukaan tidak terlalu rendah dan sudah tidak ada tempat lagi untuk penambahan air blaster.

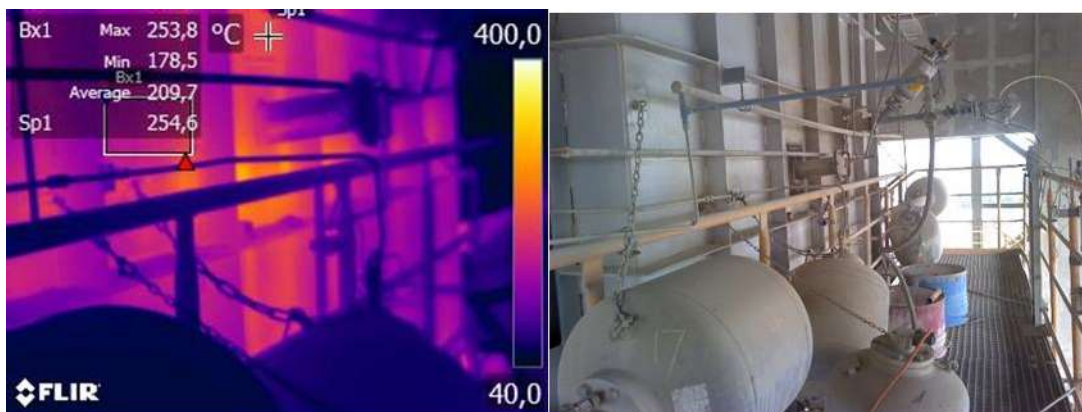
3. Analisa Lantai 3

Pada lantai tiga ada total 12 air blaster, di bagian belakang (Barat) kiln inlet 4, bagian depan (Timur) 4, dan dibagian sisi samping (utara & selatan) masing-masing 4[2]. Berikut gambar analisisnya



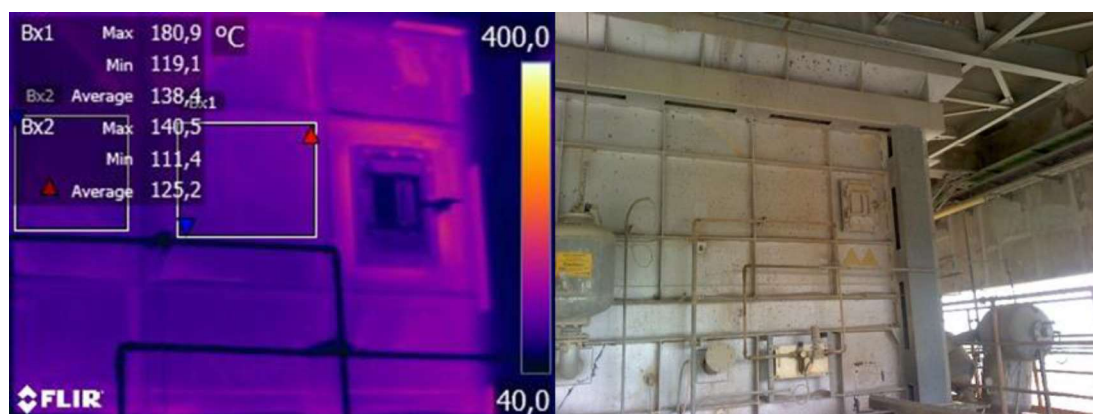
Gambar.5 Air blaster lantai 3 kiln inlet sisi utara

Berdasarkan Gambar.5, sisi kiri *kiln inlet* (utara) hasil analisa *thermography* nampak kurang baik, posisi *air blaster* yang berdampingan membuat suhu permukaan lumayan rendah di bagian atas *air blaster* dibandingkan dengan suhu permukaan di samping *air blaster*. Disarankan untuk memindah salah satu air blaster ke bagian atas agar hasil seimbang.



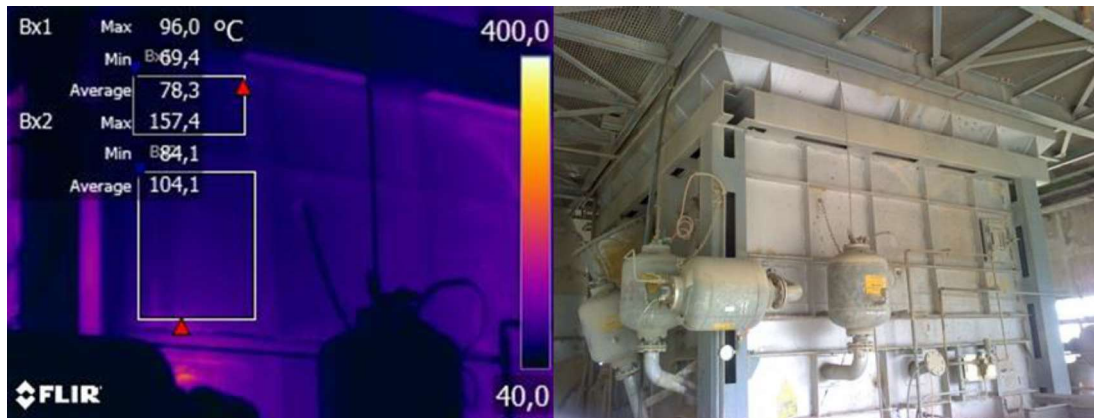
Gambar.6 Air blaster lantai 3 kiln inlet sisi timur

Pada sisi (timur) ini tidak ditemukan masalah karena dapat dilihat pada hasil analisa yang dimana suhu permukaannya tidak terlalu rendah. Untuk *air blaster* di bagian ini tidak perlu dipindah ataupun ditambah hanya diperbaiki saja.



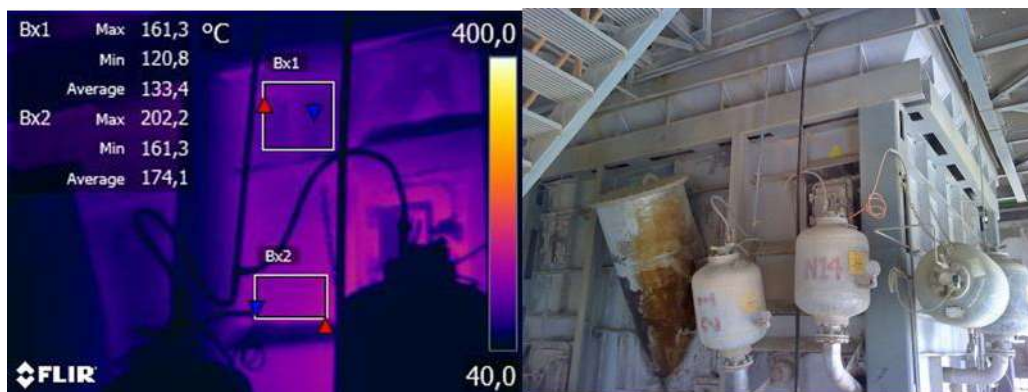
Gambar.7 Air blaster lantai 3 kiln inlet sisi selatan kanan

Pada bagian ini terlihat bahwa nampak kosong dan suhu permukaannya rendah, kemungkinan *coating* menempel besar, untuk itu perlu ditambah dan dipindah air blaster pada bagian ini untuk menghindari *coating* menempel di bagian tersebut.



Gambar.8 Air blaster lantai 3 kiln inlet sisi selatan kiri

Pada bagian ini terlihat posisi air blaster yang berdampingan, namun bagian atas dari *air blaster* terlihat suhu permukaannya rendah, kemungkinan *coating* menempel sehingga lebih baik salah satu *air blaster* dipindah ke atas untuk menghindari *coating* menempel.



Gambar.9 Air blaster lantai 3 kiln inlet sisi barat

Pada bagian suhu permukaan masih aman, namun di sebelah kiri bagian ini hanya ada 1 *air blaster*, untuk itu diperlukan tambahan *air blaster* tambahan di bagian tersebut.

3.2 Perbaikan Posisi *Air Blaster*

Perbaikan tata letak *air blaster* dilakukan setelah observasi pada lapangan dengan menyesuaikan kondisi yang ada di lapangan. Pemasangan *air blaster* diletakkan pada titik yang berkemungkinan terjadi *coating*, sesuai dengan hasil analisa *thermography*. Perubahan terjadi di lantai 3 *kiln inlet*, berikut perubahan yang dilakukan.



Gambar.10 Letak *Air blaster* sisi Selatan



Gambar.11 Letak *Air blaster* sisi Barat



Gambar.12 Letak *Air blaster* sisi Timur

Air blaster di letakkan pada bagian yang berpotensi menyebabkan *coating* berlebih. *Air blaster* dipasang sedekat mungkin dengan letak *nozzle* agar tidak terjadi tekanan angin yang melemah atau menghilang karena jarak antara *nozzle* dengan lubang *outlet air blaster*.

3.3 Sudut Nozzle Air Blaster

Nozzle air blaster dipasang dengan sudut nozzle 90° terhadap dinding kiln inlet, posisi dari air blaster menyesuaikan dengan dinding kiln inlet. Nozzle di arahkan ke bawah agar material rontok dan jatuh kebawah untuk diteruskan menuju kiln dengan bantuan air blaster yang berada di lantai 1 dan 2 kiln inlet. Tekanan udara dari air blaster mencegah penempelan material pada dinding kiln inlet, sehingga aliran material menjadi lebih lancar. Arah nozzle juga tidak mengarah ke nozzle lainnya, agar tidak terjadi penyumbatan pada lubang nozzle.



Gambar.13 Nozzle Air blaster 90°

3.4 Perhitungan Energi Transpotasi Air Blaster

$$\begin{aligned} \text{Tekanan} &= 7\text{bar} = 700.000\text{N/m}^2 \\ \text{Waktu tembakan} &= 200\text{ms} = 0,2\text{s} \\ \text{Waktu siklus} &= 60\text{s} \\ \text{Waktu berhenti} &= 300\text{s} \end{aligned}$$

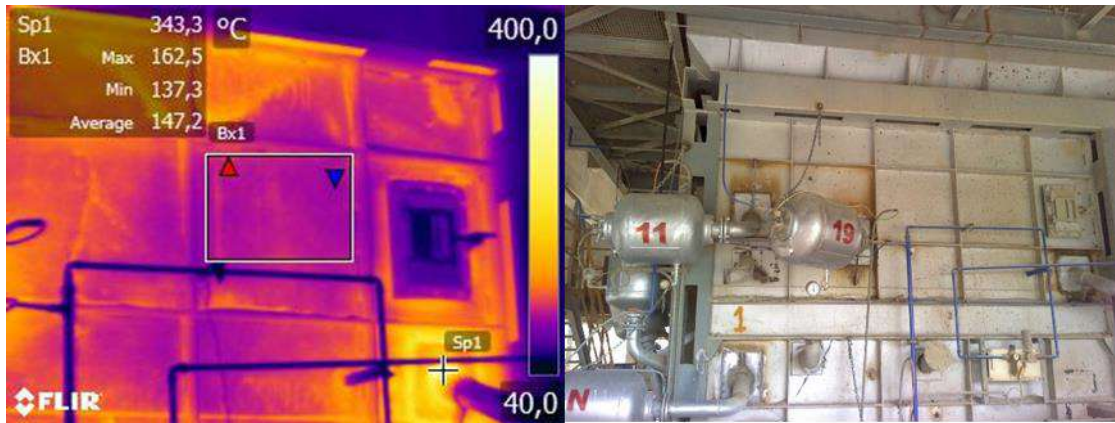
Waktu berhenti adalah waktu berhenti atau waktu jeda antara air blaster yang kedua balik ke air blaster yang pertama. Waktu berhenti ini digunakan untuk mengatur udara dari plant air agar tidak terjadi sirkulasi secara terus menerus yang berakibat pada pemborosan udara kompresor.

$$\begin{aligned} \text{Volume air blaster} &= 100\text{l} = 0,1\text{m}^3 \\ \text{Debit} &= 0,1\text{m}^3/60\text{s} = 0,0017\text{m}^3/\text{s} \\ E_{\text{trans}} &= P \times Q \times t \text{ [6]} \\ &= 700.000/\text{m}^2 \times 0,0017\text{m}^3/\text{s} \times 0,2\text{s} \\ &= 238\text{Nm} \\ E_{\text{trans}} \text{ atau } W &= F \times s \text{ [6]} \\ 238\text{Nm} &= F \times 0,5\text{m} \\ F &= 238\text{Nm}/0,5\text{m} \\ (F = m \times a) &= 476\text{N} \text{ [6]} \\ 476\text{N} &= m \times 9,8\text{m/s}^2 \\ m &= 49\text{kg} \end{aligned}$$

Jadi, pada sebuah air blaster energi transportasi yang dihasilkan sebesar 340 Nm dapat mendorong material sebesar 49 Kg yang berada di depan nozzle.

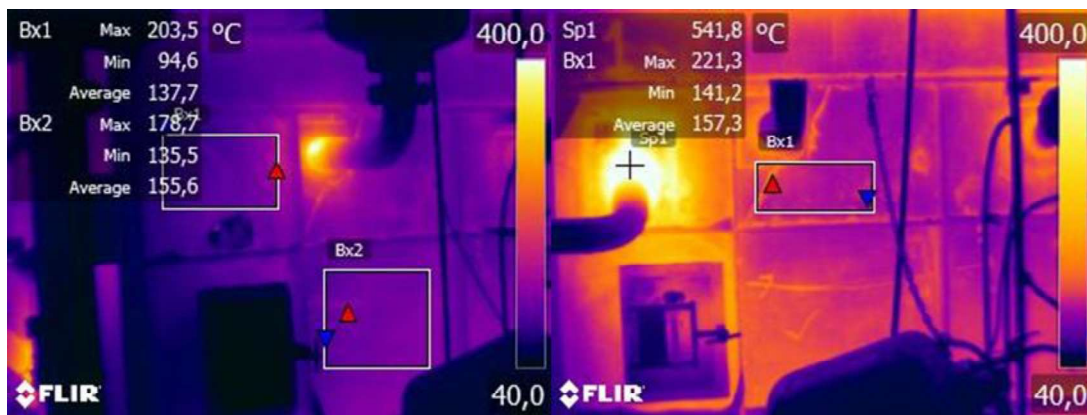
3.5 Kondisi Setelah Perbaikan

Setelah penambahan dan perubahan lokasi air blaster pada kiln inlet, diharapkan penggumpalan material (*coating*) dapat dikurangi dan tidak rontok secara bersamaan dengan jumlah yang besar; sehingga proses produksi kiln menjadi lebih lancar. Analisa dilakukan kembali untuk mengatuhui kondisi dinding kiln inlet setelah modifikasi dilakukan.



Gambar.14 Penampakan dinding kiln inlet

Berdasarkan Gambar.14 bahwa nilai suhu permukaan dinding kiln inlet yang baik, tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah (sekitar 150°C)[4]. Nilai suhu ini mengindikasikan bahwa tidak terjadi penggumpalan material yang berlebih di dinding kiln inlet. Sebagai perbandingan lihat Gambar.15.



Gambar.15 Perbandingan sebelum dan sesudah modifikasi

Perbedaan nilai suhu permukaan yang signifikan ditunjukkan pada Gambar.15, selisih nilai 20°C menunjukkan bahwa ada kemajuan kerja dari air blaster yang dimodifikasi lokasinya.

4. KESIMPULAN

Dari perbaikan ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Perbaikan posisi air blaster pada kiln inlet adalah sebagai bentuk kemajuan pada *system compressed air cleaning*.
2. Sistem kerja air blaster pada kiln inlet menjadi optimal.
3. Kerugian akibat dari *coating* rontok dapat diminimalikan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Duda, *Cement Data Book 1*. Berlin: Bauverlag, 1988.
- [2] T. P. AG, "Compressed Air Cleaning System PH 25/50," 2012.
- [3] M. Cronholm, *Infrared Thermography for Industrial Maintenance*. Thailand, 2014.
- [4] H. I. P. Putra, "Analisa Thermography PH," ed, 2018.
- [5] G. E. Pradana, "Suhu permukaanKiln Inlet," ed, 2018.
- [6] E. S. Budi, "Perancangan Air Blaster Pada Bin Weighfeeder Silica Untuk Mengurangi Potensi Deviasi," D3 Teknik Mesin, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, 2017.

PERBAIKAN SISTEM KERJA LINI RECYCLE SANDCORE PADA PT X
Penulis Pertama¹, Penulis Kedua², Umi Safitri¹, Tri Widjatmaka²

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425. No Tlp (021) 7270036, Fax (021) 7270036,
umisafitri96@gmail.com.

Abstrak

Sistem kerja pada lini recycle sandcore di PT X meliputi proses pemanasan, penimbangan dan pencampuran material pasir dengan bahan-bahan kimia. Permasalahan yang dihadapi PT.X adalah waktu siklus recycle sandcore yang terlalu lama, yaitu 15.447 detik, yang berdampak pada efisiensi lini yang rendah yaitu 65%. Lamanya waktu siklus disebabkan oleh waktu tunggu pemanasan pasir selama 14.400 detik dan jarak material handling pada proses penimbangan pasir sejauh 63 m. Hal ini disebabkan waktu set up yang lama, serta adanya gerakan yang tidak sesuai dengan ekonomi gerakan pada saat penuangan bahan kimia. Tujuan penelitian adalah untuk mengurangi waktu siklus dan meningkatkan efisiensi line. Langkah perbaikan dilakukan dengan metode analisa 4M+1E, membuat mesin pemanas, penimbangan pasir menggunakan sensor berat dan otomatisasi proses penuangan bahan kimia. Hasil perbaikan adalah jarak material handling proses penimbangan menjadi 0 detik, waktu tunggu pemanasan menjadi 1.020 detik, siklus recycle sandcore berkurang menjadi 2.181 detik.

Kata Kunci: Recycle Sandcore, Sistem Kerja, TSK, TSKK

Abstract

The work system in the recycle sandcore line at PT X includes heating, weighing, and mixing of sand with chemicals. The problem faced by PT is the long cycle time of recycle sandcore, which is 15.447 seconds, impact low line efficiency which is 65%. The length of the cycle time is caused by the waiting time of heating sand for 14,400 sec and the material handling distance in the sand weighing process is 63 m. This is due to the long set up time, as well as the movement that does not fit the movement's economy at the time of pouring chemicals. The objective of the study is reducing cycle time and improving line efficiency. Improvement step is done by 4M + 1E analysis method, build heating machine, weighting process with heavy sensor, and automatization on chemical pouring process. With these improvements, the material handling distance of the weighing process becomes 0 seconds, the heating time becomes 1.020 seconds, reduce cycle time to 2.181 seconds.

Keywords: Recycle Sandcore, Work System, TSK, TSKK

1. PENDAHULUAN

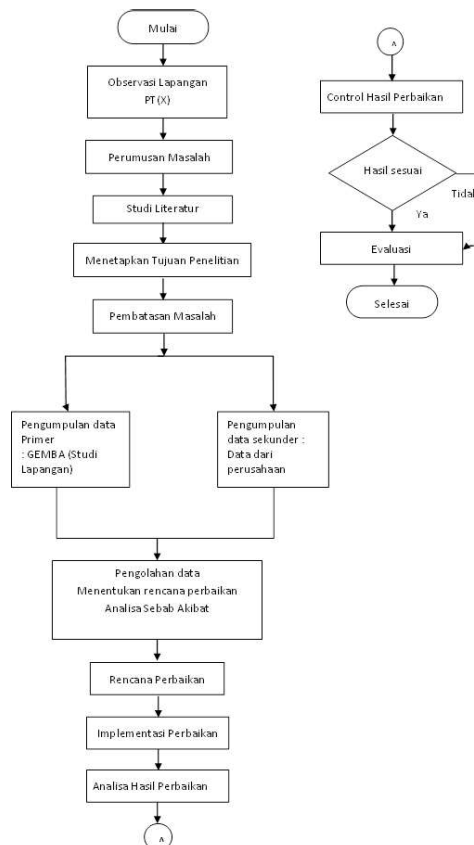
PT X merupakan perusahaan yang bergerak di bidang *casting* alumunium untuk *automotives* yang memiliki 4 cabang, satu diantaranya bergerak dibidang komponen. *Trend market* yang terjadi mengalami kenaikan hingga 16% pada produk 2 *wheels* dan 95% pada 4 *wheels*. Produk dengan tarikan produksi terbesar pada 4 *wheels* adalah *retainer*. *Retainer* merupakan produk komponen 4 *wheels* yang berfungsi untuk proses perpindahan *gear*. Pada proses pembentukan *retainer* membutuhkan *sandcore* sebagai pembentuk lubang pada komponen, kemudian pasir dihilangkan dengan proses pemanasan yang disebut kalsinasi. Pada proses tersebut menghasilkan pasir sisa yang diolah kembali di line *recycle sandcore*. Berdasarkan observasi pendahuluan, *cycle time recycle sandcore* yang dibutuhkan tinggi yaitu 15447 detik. Hal ini disebabkan karena banyaknya waktu tunggu operator dan elemen kerja yang harus dikerjakan secara manual. Waktu tunggu proses pemanasan pasir yang dilakukan pada proses kalsinasi adalah 14.400 detik, jarak proses penimbangan pasir sebesar 63 m, yang berakibat suhu pasir turun. Pada proses *recycle* tersebut, terdapat penuangan bahan kimia manual yang menyebabkan mesin harus dalam kondisi mati.

Berkaitan dengan kondisi tersebut di atas, maka perlu dilakukan *improvement* sistem kerja di lini *recycle sandcore* agar didapatkan proses produksi dan sistem kerja yang efektif dan efisien. *Improvement* yang dilakukan adalah perbaikan system kerja dengan tujuan untuk mengurangi waktu siklus produksi dan elemen kerja yang tidak sesuai dengan ekonomi gerakan.

Sistem kerja yang baik merupakan salah satu faktor penting dalam kemajuan sebuah perusahaan dan merupakan kunci utama keberhasilan dalam rangka meningkatkan produktivitas, meminimalisir terjadinya kecelakaan kerja, penyakit akibat kerja dan efisiensi perusahaan. Rancangan sistem kerja yang dibuat harus disesuaikan dengan kebutuhan pekerja dan perusahaan agar tercipta sistem kerja yang aman, nyaman dan mampu meningkatkan produktivitas kerja [1].

2. METODE PENELITIAN

Diagram alir penelitian ini adalah sebagaimana Gambar .1 di bawah :



Gambar.1 Diagram Alir Penelitian

Uraian kegiatan gambar di atas adalah sebagai berikut:

a. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data primer dilakukan observasi di lapangan kerja untuk melihat proses secara langsung dan mendapatkan data untuk dapat dilakukan analisis kondisi yang ada. Analisis kondisi yang ada dilakukan untuk menentukan penyebab terjadinya masalah dan untuk menentukan metode perbaikan. Pada tahap pengumpulan data sekunder, dikumpulkan data-data dari perusahaan yang permasalahannya diangkat sebagai acuan dalam perbaikan.

b. Pengolahan Data dan Analisis

Pengolahan data dilakukan terkait permasalahan yang di temukan, menggunakan alat bantu berupa *checksheet* guna pengendalian mutu dan analisa dengan 4M+1E (*Man, Methode, Machine, Material* dan *Environment*) di area *sandcore recycle*

c. Rencana Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis sebab-akibat, tahap selanjutnya adalah penentuan rencana perbaikan dengan cara *brainstorming* dengan tim terkait mengenai langkah-langkah dalam melakukan perbaikan.

d. Implementasi Perbaikan

Implementasi perbaikan dilakukan dengan tim terkait di lapangan. Tahapan implementasi dimulai *trial* di eksternal kemudian internal dan proses produksi massal. Implementasi disesuaikan dengan kondisi 4M+1E (*Man, Methode, Machine, Material* dan *Environment*) di area *sandcore recycle*

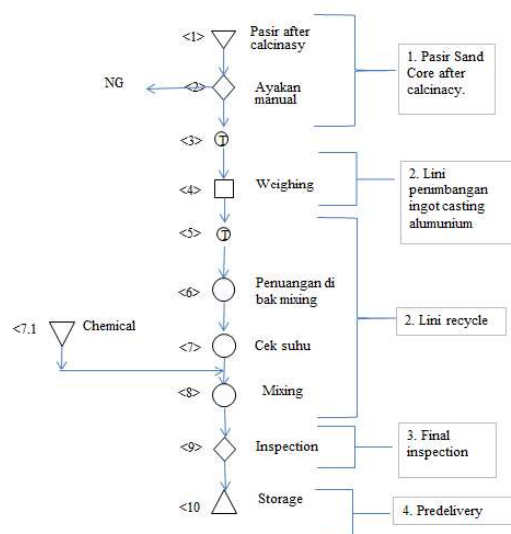
e. Kontrol dan Evaluasi

Kontrol hasil perbaikan bertujuan untuk melihat hasil perbaikan terhadap objek yang diperbaiki. Pada tahapan tersebut dipantau dan diukur seberapa optimal hasil perbaikan untuk tahap selanjutnya untuk dievaluasi terkait perubahan pada objek.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

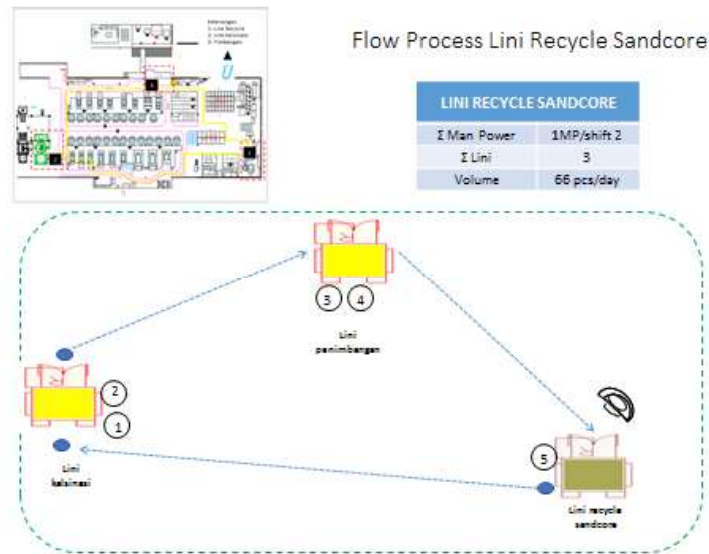
a. *Data sebelum perbaikan*

Proses kerja *recycle sandcore* sebelum perbaikan digambarkan dengan proses flow chart sebagaimana gambar 2.



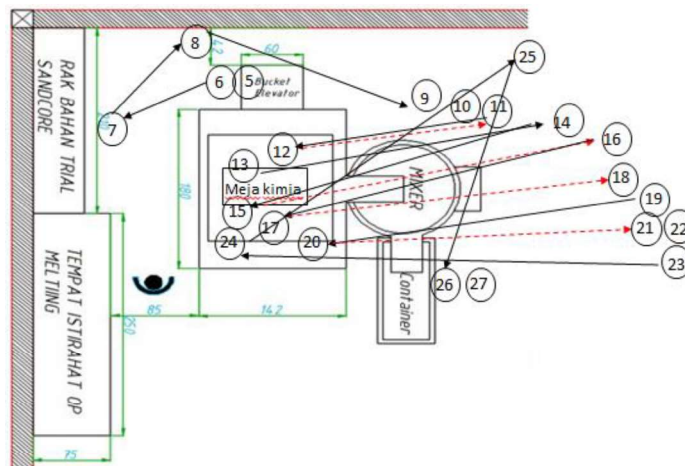
Gambar.2 Process Flow Chart Proses Recycle Sandcore

Skema gerakan hasil gamba adalah seperti gambar-3 di bawah.



Gambar.3 Gerakan Kerja Operator dalam 3 lini

Pada lini *recycle sandcore* terdapat gerakan kerja sebagaimana gambar-4 di bawah.



Gambar.4 Gerakan Kerja Operator di lini Recycle Sandcore

Data waktu siklus kondisi sebelum perbaikan dari hasil observasi adalah seperti Tabel-1 di bawah.

Tabel-1 Data Waktu Proses Recycle Sandcore Sebelum Perbaikan

NO	NAME OF WORK	WAKTU (Detik)		
		VALUE	NON VALUE	AUTO
	Proses kalsinasi			14400.00
				60.00
1	Buka hopper mesin kalsinasi		14.00	
2	Penuangan pasir dari kalsinasi		260.00	
3	Lakukan penimbangan pasir		10.00	
4	Cek temperature menggunakan themohunter		10.00	
5	Tekan tombol on bucket elevator		1.00	
6	Buka tutup hopper (trolley)		3.00	480.00
7	Timbang resin sebanyak		88.00	
8	Tekan tombol off bucket elevator		1.00	
9	Cek temperature menggunakan themohunter		10.00	
10	Tekan tombol on pada mesin mixing.		1.00	60.00
11	Tekan tombol off pada mesin mixing		1.00	
12	Tuangkan resin sebanyak		10.00	
13	Letakan wadah		2.00	
14	Tekan tombol mesin on dan Proses mixing		1.00	60.00
15	Siapkan larutan heksamin		60.00	
16	Tekan tombol off pada mesin mixing		1.00	
17	Tuang heksamin		10.00	
18	Letakan gelas ukur		2.00	
19	Tekan tombol mesin on dan Proses mixing		1.00	60.00
20	Siapkan Calcium 40 gram		25.00	
21	Tekan tombol off		1.00	
22	Tuang kalsium		10.00	
23	Setting waktu mixing dari 1 menit ke 3 menit		5.00	
24	Letakan sendok takar		2.00	
25	Tekan tombol mesin on dan Proses mixing		1.00	300.00
26	Buka katup mesin mixing		15.00	
27	Proses pengeluaran pasir		300.00	

Berdasarkan data waktu diatas, jumlah waktu siklus yaitu 15.447 detik, waktu ini berdasarkan waktu tunggu operator pada proses kalsinasi dan jumlah waktu jalan dan gerakan kerja operator.

Untuk menghitung efisiensi dibutuhkan data jumlah produksi cycle time dan waktu yang tersedia. Proses 1 siklus pasir menghasilkan 100 kg, untuk membuat sandcore di butuhkan pasir seberat 1.5 kg , satu siklus didapatkan 66 buah, sehingga di dapatkan:

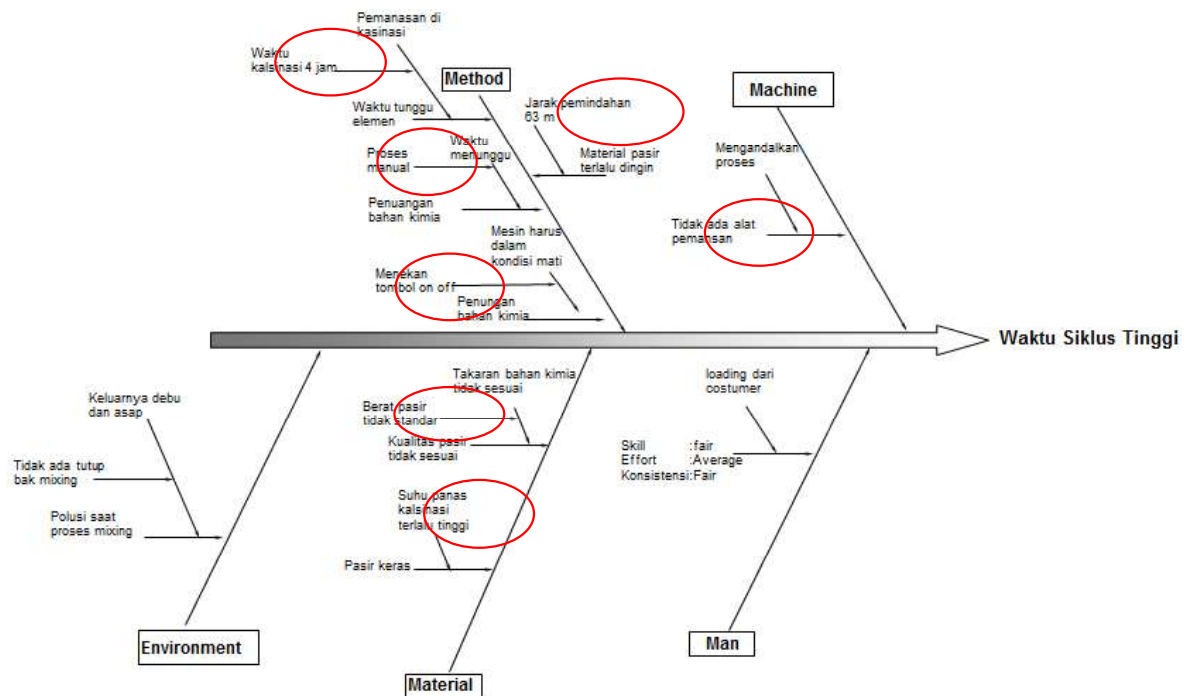
$$Efficiency = \frac{Jumlah\ Produksi\ Ok \times Cycle\ Time}{Waktu\ tersedia\ (shift\ 2)} \times 100\%$$

$$Efficiency = \frac{66 \times 234}{27600 \times 0.85} \times 100\%$$

$$Efficiency = 65\%$$

Selanjutnya dilakukan Analisis 4M +1 E dengan Fishbone Diagram (Gambar-3):

Pengolahan data dilakukan analisis terkait permasalahan, menggunakan alat bantu pengendalian mutu checksheet.



Gambar.5 Fishbone Diagram

Analisa sebab-akibat dengan fishbone diagram yang meliputi 5 komponen 4M+1E (Man, Methode, Material, Machine dan Environment). Analisa pada aspek Man meliputi skill, effort, konsistensi dan pengerjaan sesuai dengan SOP (Standar Operasional Prosedur) keterampilan sudah sesuai standar. Pada aspek material terdapat masalah pasir yang keras jika suhu pada saat pengeluaran pasir kalsinasi tinggi $\geq 300^{\circ}\text{C}$ dalam kondisi pasir sangat panas pasir keras sehingga tidak tercampur dengan bahan kimia dan dapat menyebabkan bahan kimia menggumpal. Pasir hasil recycle juga tidak sesuai jika bahan takaran kimia tidak sesuai, hal ini terjadi karena berat pasir yang tidak sesuai standar proses. Pada aspek mesin tidak ada alat pemanas, proses pemanasan mengandalkan proses kalsinasi. Aspek metode pada penuangan bahan kimia mesin harus dalam kondisi mati, sehingga operator harus menekan tombol on off mesin. Proses ini menyebabkan waktu tunggu mesin saat proses penuangan bahan kimia oleh operator. Waktu tunggu elemen kerja lain terjadi pada proses pemanasan kalsinasi dengan waktu 14400 detik. Aspek terakhir yaitu berdasarkan environment terjadi polusi saat proses mixing berupa keluarnya debu dan asap, hal ini disebabkan karena tidak ada tutup pada bak mixing, namun hal ini tidak berpengaruh pada penyebab cycle time tinggi.

b. Pelaksanaan Perbaikan / Improvement

Proses implementasi perbaikan setelah analisis dilakukan oleh divisi *engineering* dengan bantuan vendor. Setelah dilakukan perencanaan perbaikan, tahap selanjutnya adalah melakukan implementasi perbaikan. Proses pebaikan dilakukan bertahap mulai dari penambahan *heater*, semiauto feeder, di area *recycle* dilanjutkan dengan melakukan *trial* dan penambahan *feeder* untuk mengurangi waktu siklus

1). Penambahan Heater

Pada penambahan alat pemanas heater yang digunakan adalah jenis straight, pada heater di tambahkan pyramid yang digunakan agar pasir yang turun dari bucket elevator merata ke sisi heater heater. Posisi heater berada di atas mesin, yaitu pada hopper yang sebelumnya digunakan sebagai media penghubung bucket elevator dan mesin mixing.



Gambar.6 Alat Pemanas

2).Penambahan Semi Autofeeder

Tahap perbaikan ditambahkan semi *auto feeder* yaitu alat yang digunakan untuk menuangkan bahan kimia secara otomatis pada saat proses *sand mixing*. Perbaikan ini dilakukan agar mengurangi kerja operator dan waktu tunggu mesin saat proses penambahan bahan kimia. Prinsip kerja feeder dengan piston yaitu gerakan maju mundur yang dikendalikan dengan PLC-Omron. Semi *auto feeder* di setting otomatis saat proses *sand mixing* berlangsung sehingga tidak ada waktu mesin menunggu operator karena proses penuangan.



Gambar.7 Alat Pemanas

3). Penambahan Sensor Berat Penimbangan

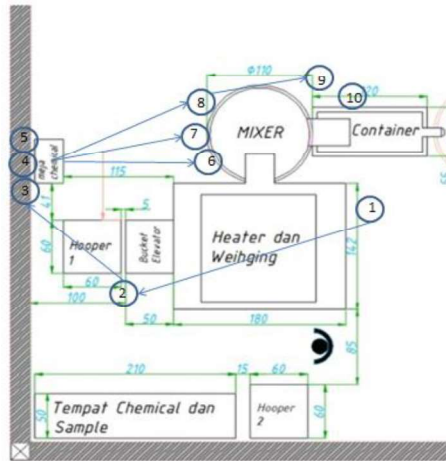
Load cell di letakkan sesudah proses penuangan dengan bucket elevator, saat pasir mengenai sensor maka akan keluar display digital angka jumlah pasir masuk kedalam heater.



Gambar.8 Alat Pemanas

c. Data setelah perbaikan

Skema setelah perbaikan adalah seperti pada Gambar-5 di bawah.

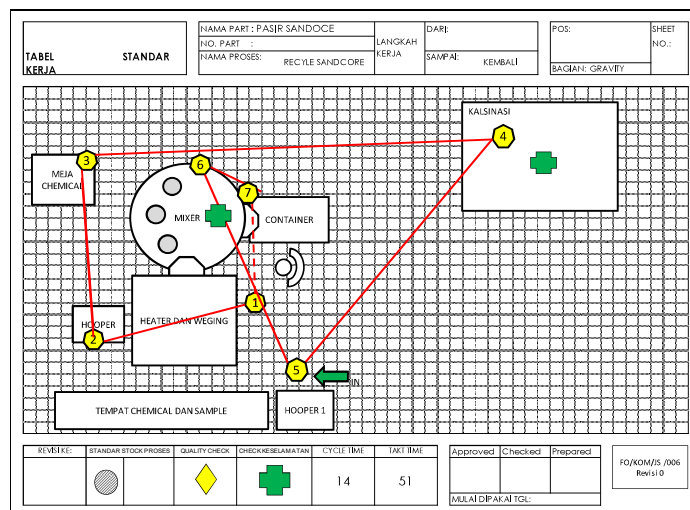


Gambar.9 Skema gerakan setelah perbaikan

Berdasarkan analisis waktu pergerakan setelah perbaikan didapatkan waktu tunggu operator untuk proses pengisian *heater* dengan pasir secara otomatis sebesar 518 detik dan waktu tunggu proses pemanasan pasir sebesar 1020 detik/siklus. Waktu menunggu adalah salah satu bentuk pemborosan yang paling mudah dilihat dan diidentifikasi. Waktu menunggu mempunyai bermacam bentuk antara lain ialah menunggu komponen atau *sub-assembly* dari Departemen sebelumnya. [2] sehingga dilakukan penambahan elemen kerja untuk mengurangi waktu tunggu operator dengan alternatif berikut.

1). Alternatif Gerakan-1

Berdasarkan analisis gerakan 1, waktu yang dibutuhkan dalam satu siklus proses yaitu 2353 detik. Pada Alternatif 1 fasilitas yang ditambahkan hopper agar memudahkan proses handling pasir. Waktu tunggu operator saat proses penuangan pasir ke *heater* otomatis dirancang agar operator menyiapkan bahan kimia dan memasukkan bahan kimia ke *feeder* sebagaimana pada gambar 2 pada gerakan kerja ke 3 *feeder* bahan kimia akan terbuka otomatis saat proses *sand mixing*. Pada proses pemanasan otomatis operator menukarkan *hopper* yang masih terisi pasir dan membawa *hopper* kosong untuk diisi pasir. selama 507 detik sebagaimana gambar 2 pada gerakan kerja ke 4. Alternatif Gerakan 1 ditunjukkan sebagaimana Gambar 10.

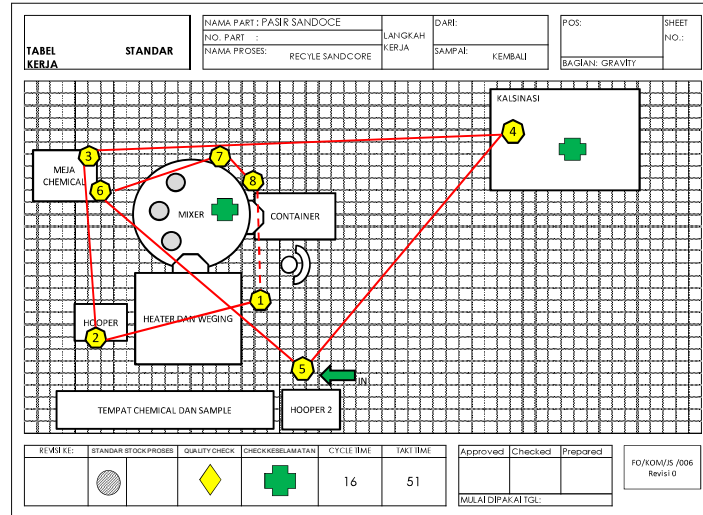


Gambar.10 Alternatif Gerakan 1

2). Alternatif Gerakan-2

Pengukuran waktu siklus berdasarkan analisis gerakan pada alternatif 2 adalah 1518 detik pada alternatif 2 proses menunggu penuangan pasir otomatis operator menyiapkan bahan kimia. Pada saat proses penuangan pasir ke *heater*, operator menyiapkan bahan kimia dan memasukkan bahan kimia ke *feeder*

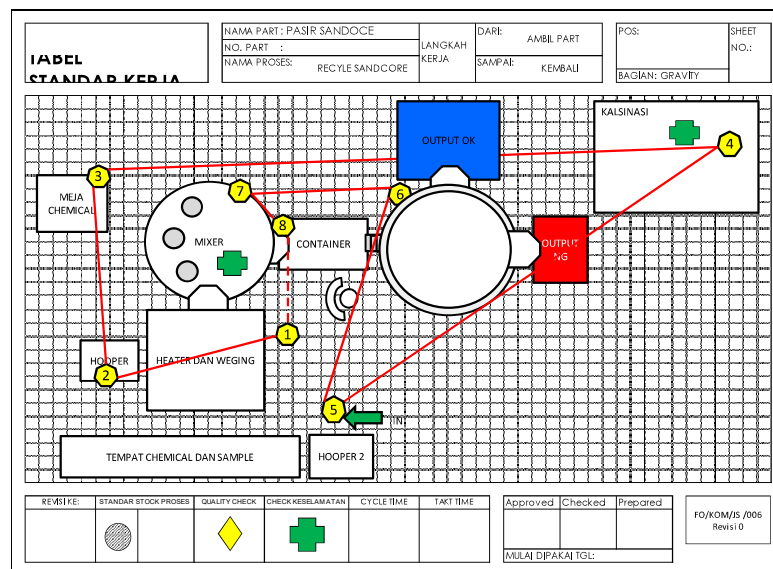
untuk proses selanjutnya sebagaimana gambar 3 pada gerakan kerja ke 3. Waktu tunggu proses pemanasan pasir ditambahkan elemen kerja baru berupa menukar dan mengisi hopper yang kosong. selama yang dilakukan dalam waktu 507 detik dan menyiapkan bahan kimia untuk proses selanjutnya selama 173 detik penambahan elemen kerja ini sebagaimana gambar 3 pada gerakan kerja 4, gerakan kerja 5 dan gerakan kerja 6. Alternatif Gerakan 2 ditunjukkan sebagaimana Gambar 11



Gambar.11 Alternatif Gerakan 2

3). Alternatif Gerakan-3

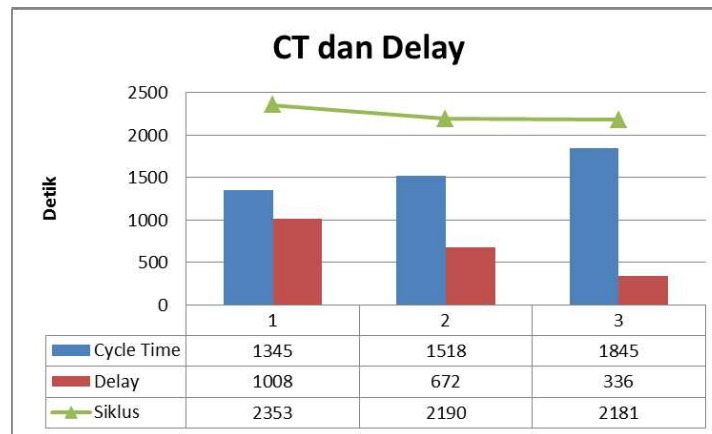
Hasil pengukuran waktu berdasarkan analisis gerakan, mendapatkan waktu siklus proses *recycle* 1845 detik. Pemanfaatan waktu saat proses penuangan pasir ke *heater* otomatis digunakan operator untuk menyiapkan bahan kimia sebagaimana gambar 4 pada gerakan kerja 3. Waktu tunggu proses pemanasan pasir digunakan operator menukarkan mengisi *hopper* yang kosong selama 507 detik dan menyiapkan material berupa bahan kimia untuk proses selanjutnya selama 173 detik selanjutnya ditambahkan elemen kerja berupa pengayakan pasir. Mesin pengayak (*siever*) ini merupakan mesin baru yang digunakan untuk meningkatkan kualitas pasir recycle pada saat *casting* pasir proses memindahkan pasir ke *siever* dilakukan selama 480 [detik] sebagaimana gambar 4 pada gerakan kerja 3, gerakan kerja 4 dan gerakan kerja 5 dan gerakan kerja 6. Alternatif Gerakan 3 ditunjukkan sebagaimana Gambar 12



Gambar.12 Alternatif Gerakan 3

Berdasarkan alternatif yang dibuat pada pembahasan di atas, maka dapat dipilih yang memiliki waktu tunggu terkecil dan memenuhi *takt time line*. Tabel 4 menunjukkan perbandingan waktu tunggu operator untuk lini recycle sandcore produksi 1 *Gravity Die Casting*.

Grafik cycle time (CT) dan delay sebagaimana Gambar. 13



Gambar.13 Grafik Cycle Time dan Delay

Berdasarkan grafik sebagaimana gambar 13 terdapat 3 alternatif gerakan pada proses recycle. Pada proses recycle setiap siklus menghasilkan pasir sebanyak 100 kg dan pasir yang dibutuhkan untuk membuat komponen sandcore adalah 1.5 kg, sehingga pada setiap proses dihasilkan 66 pcs. Maka didapatkan cycle time tiap komponen adalah 34 detik pada alternatif 1, 33 detik pada alternatif 2, 33 detik pada alternatif 3. Dalam pemilihan alternatif gerakan, yang harus diperhatikan adalah waktu tunggu dan takt time line yaitu waktu yang tersedia dibagi dengan jumlah order [3] Ditinjau melalui waktu siklus terdapat 3 alternatif dengan digunakan data takt time line yang didapatkan melalui perhitungan yang dihasilkan waktu dengan order maksimum adalah 51 detik untuk order maksimum all retainer sehingga dapat dipilih alternatif 3, karena memiliki waktu tunggu paling rendah.

4. KESIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil dari perbaikan system kerja line recycle sandcore ini adalah sebagai berikut:

1. Pengurangan jarak 63 m pada proses penimbangan dengan ditambahkan *load cell* sebagai sensor berat. Dengan ditambahkan *heater* proses pemanasan pasir 1020 detik dan pada proses pencampuran kimia tidak terjadi waktu tunggu mesin saat operator menuang bahan kimia secara manual.
2. Waktu siklus awal 15447 detik menjadi 2181 detik dengan pergerakan kerja yang baru pada alternatif 3
3. Dengan menggunakan alternatif ke 3 memiliki cycle time 33 detik sehingga dapat memenuhi takt time line yaitu 51 detik dan proses menunggu operator lebih pendek dari alternatif 1 dan alternatif 2. yaitu 336.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1]I. Sitalaksana, R. Anggawisastra, and J.H. Tjakraatmadja, *Teknik Perancangan Sistem Kerja*, Bandung: ITB, 2006. hal. 44.
- [2]Imai, Masaaki 1998. *Gemba kaizen: Pendekatan Akal Sehat, Berbiaya Rendah pada Manajemen*. Jakarta: CV Taruna Grafika.
- [3]Art of Lean, Inc., *Toyota Production System Basic Handbook*, Huntington,California: Art of Lean, Inc., 2014.

**PREVENTIVE MAINTENANCE PADA MESIN VACUUM FORMING TERHADAP HASIL
INNER LINER DI PT.Y**

Reza Revian Widyatama¹, Nugroho Eko²

¹Program Studi D3 Teknik Mesin, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16425, Telp : 021 7863530 Fax : 021 7863530, Email : rezarevian14@gmail.com

²Dosen Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

PT. Y merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang manufacturing home appliances seperti kulkas, mesin pompa air, air conditioner, radio, mesin cuci, dan electric fan. Produk yang dihasilkan oleh PT. Y harus dijaga kualitas dan kuantitasnya. Salah satu mesin yang digunakan oleh PT. Y untuk membuat kulkas adalah mesin vacuum forming. Mesin vacuum forming digunakan untuk membuat inner liner pada bagian dalam kulkas.

Banyaknya inner liner yang dihasilkan oleh mesin vacuum forming sering kali terdapat defect yang dapat mengurangi hasil produksi inner liner. Permasalahan inilah yang kemudian harus segera ditangani dengan melakukan preventive maintenance terhadap mesin vacuum forming guna mengoptimalkan hasil produksi inner liner. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan agar mengetahui tindakan preventive maintenance apa saja yang telah dilakukan pada mesin vacuum forming dan mengetahui pengurangan jumlah defect yang telah berhasil ditekan oleh PT.Y. Metode yang dilakukan dengan melakukan wawancara terhadap operator mesin vacuum forming dan orang quality control, melakukan tinjauan langsung dengan mengambil data, dan melalui tinjauan pustaka yang didapat.

Pada hasil akhir dapat diketahui perubahan-perubahan yang dilakukan terhadap mesin vacuum forming demi mengurangi nilai defect yang terjadi seperti merubah metode sistem pemanasan pada heater menggunakan panel, sistem pendinginan dengan penambahan pendingin dari luar, dan perubahan-perubahan pada komponen yang ada pada mesin vacuum forming.

Kata kunci : mesin vacuum forming, inner liner, defect inner liner, preventive maintenance

Abstract

PT. Y is a company which engaged in the field of manufacturing home appliances such as refrigerator, water pump, air conditioner, radio, laundry system, and electric fan. Every product that been produced by PT.Y must be checked the quality and quantity. One of machine that used by PT. Y to make refrigerator is vacuum forming machine. That vacuum forming machine used to make inner liner for interior the refrigerator.

The quantity of inner liner that been produced by vacuum forming often there are defect which can reduce production of inner liner. This problem must be dealt quickly by doing preventive maintenance for vacuum forming machine in order to optimizing production result of inner liner. This study was conducted to know the action of preventive maintenance that has been done on vacuum forming machine and to know the reduction amount of defect which has been reduced by PT. Y. The methods done with questioning the operator of vacuum forming machine and quality control who responsible of inner liner, take an actual data with direct look onto the process, and from literature review about vacuum forming machine.

On the final result can be known the change on vacuum forming machine for reduce defect that happen such as changing heat system method using panel, adding cooling tools to cooling system, and many change of components on vacuum forming machine.

Keywords : vacuum forming machine, inner liner, defect inner liner, preventive maintenance

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

PT. Y merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang *manufacturing home appliances* seperti kulkas, mesin pompa air, *air conditioner*, radio, mesin cuci, dan *electric fan*. Produk yang dihasilkan oleh PT. Y harus dijaga kualitas dan kuantitasnya. Pada produksi kulkas, banyak mesin yang digunakan oleh PT.Y dan salah satunya adalah mesin *vacuum forming*. Mesin *vacuum forming* digunakan untuk membuat *inner liner* yang berada pada bagian dalam kulkas. Saat proses produksi *inner liner*, terdapat *inner liner* yang mengalami *defect* sehingga tidak dapat digunakan untuk pembuatan kulkas. Oleh karena itu, PT.Y melakukan *preventive maintenance* guna mengurangi *defect* yang terjadi pada *inner liner*.

2. Tujuan

Studi ini bertujuan untuk memberikan pengetahuan terhadap pembaca tentang mesin *vacuum forming*, *inner liner*, *defect inner liner* dan *preventive maintenance* yang telah dilakukan oleh PT.Y.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan untuk studi ini dilakukan dengan cara:

1. Mewawancarai operator mesin *vacuum forming* dan bagian *quality control* yang bertanggung jawab.
2. Mengambil data secara langsung dengan mengamati proses pembuatan dari *inner liner* pada mesin *vacuum forming*.
3. Mengambil tinjauan pustaka dari beberapa literature yang ada mengenai mesin *vacuum forming*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Definisi dan Proses Mesin *Vacuum Forming*

Vacuum Forming merupakan sebuah mesin yang digunakan untuk mengubah lembaran plastik menjadi bentuk sesuai yang diinginkan.



Gambar.1 Mesin *vacuum forming*



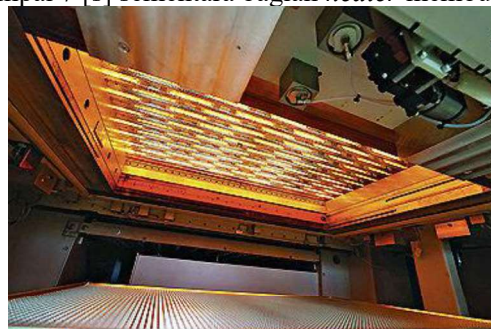
Gambar.2 Proses mesin vacuum forming

Pada bagian *sheet loader* terdapat proses pengangkutan lembaran plastik dengan menggunakan alat hisap yang kemudian dijepit menggunakan mekanisme penjepitan. Pengambilan lembaran plastik diatur sedemikian rupa agar lembaran plastik yang terambil hanya satu di tiap proses *sheet loader*. Hal ini bertujuan agar pada proses pemanasan lembaran plastik memiliki panas yang sempurna sehingga saat proses *forming* hasilnya sesuai yang diinginkan. Pada bagian *sheet loader* memerlukan waktu sekitar 6 [s] sampai 7 [s].



Gambar.3 Bagian *sheet loader*

Selanjutnya lembaran plastik menuju *pre-heater* dan *heater* untuk dilakukan pemanasan. Pada bagian *pre-heater* lembaran plastik hanya dipanaskan hingga mencapai suhu 20°C sedangkan pada bagian *heater* lembaran plastik dipanaskan hingga plastik memiliki sifat yang mudah dibentuk. Pada mesin *vacuum forming* dua alat pemanas yang mana satu untuk bagian *pre-heater* dan satu untuk bagian *heater*. Pada bagian *pre-heater* membutuhkan waktu sekitar 6 [s] sampai 7 [s] sementara bagian *heater* membutuhkan waktu 8 [s] sampai 9 [s].



Gambar.4 Bagian *pre-heater* dan *heater*

Setelah dipanaskan lembaran plastik selanjutnya menuju bagian *forming* dimana dibagian ini terdapat proses pembentukan lembaran plastik menjadi *inner liner* kulkas. Pembentukan ini dilakukan dengan menggunakan cetakan (*mold*) sesuai dengan model yang diinginkan. Lembaran plastik diletakan pada bagian atas *mold* dan ditindih dengan *base mold* sehingga tertekan. Pada proses ini *cooling system* dari mesin akan bekerja menurunkan suhu dari lembaran plastik agar lembaran plastik tidak mengalami *defect*. Pada bagian *forming* membutuhkan waktu sekitar 13 [s] sampai 16 [s].



Gambar.5 Molding pada bagian *forming*

2. Definisi *Inner Liner*

Inner liner merupakan kulkas yang berwarna putih yang terdapat di *cabin* kulkas dan di pintu kulkas yang berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan aksesoris dari kulkas yang dibuat oleh mesin *injection*. Antara *inner liner* dengan *cabin* maupun pintu kulkas terdapat suatu cairan yang digunakan sebagai perekat *inner liner* dengan *cabin* atau pintu kulkas yang disebut *urethane*.



Gambar.6 *Inner liner* kulkas

Material untuk *inner liner* berupa HIPS dan ABS. HIPS sendiri merupakan *High Impact Polystyrene* yang mana plastik ini keras dan kaku yang dapat dipotong, digergajii dan dihantam (*punched*) dengan mudahnya. HIPS dibuat dengan cara melarutkan karet ke dalam *styrene monomer* dan kemudian *polymerizing*

styrene dengan cara biasa. HIPS mengandung 5% hingga 15% untuk menaikkan kekuatannya. Sementara ABS merupakan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* yang memiliki fitur dampak tinggi dan kekuatan lentur, sifat mekanik yang sangat baik, ketahanan kimia, kemampuan untuk dicetak, stabilitas dimensi dan kemampuan untuk diwarnai.



Gambar.7 Material HIPS (kiri) dan raw material ABS (kanan)

3. Defect Inner Liner

Suatu proses produksi yang menghasilkan barang jadi dari bahan mentah pastilah tidak semuanya sempurna sesuai yang diinginkan. Bila membuat 10 barang jadi pastilah ada 1 atau 2 barang yang mengalami kegagalan atau biasa disebut *defect*, tak terkecuali pada proses pembuatan inner liner. Karena target produksi yang diharuskan banyak tiap harinya, maka banyak pula *defect* yang dihasilkan. Di PT.Y *defect inner liner* merupakan *defect* yang terbanyak daripada *defect* yang lainnya selama proses pembuatan kulkas.

NO	DEFECT ITEM	AUGUST		SEPTEMBER		OCTOBER	
		Qty	Amount	Qty	Amount	Qty	Amount
1	<i>Inner liner</i> pada pintu rusak	8	216.852	-	-	4	126.240
2	<i>Inner liner</i> pada pintu tidak bentuk	24	529.842	30	689.577	49	1,061.385
3	<i>Inner liner</i> pada pintu dan cabin kotor	52	1,564.443	51	1,577.745	88	2,748.816
4	<i>Inner liner</i> pada cabin rusak	123	5,222.961	53	2,443.098	62	2,662.060
5	<i>Inner liner</i> pada cabin terdapat garis	48	2,677.304	34	1,923.386	55	3,065.475
6	<i>Inner liner</i> pada cabin tidak bentuk	260	10,677.761	175	6,953.712	295	13,035.440
7	<i>Inner liner</i> pada cabin berurat	28	1,333.583	16	619.506	20	737.182
8	<i>Inner liner</i> pada cabin tipis	54	2,808.009	34	1,697.864	40	1,709.629
9	<i>Inner liner</i> pada cabin berkerut	23	1,098.141	20	919.905	-	-
10	Lainnya	156	4,376.516	26	726.096	69	2,014.742
TOTAL		776	30,505.412	439	17,550.889	682	27,160.969

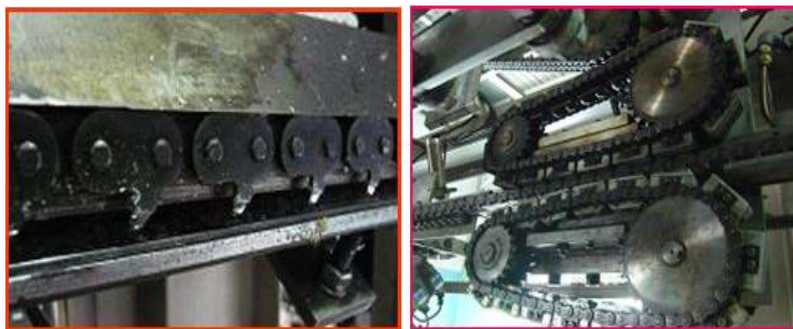
Tabel.1 Jenis dan banyaknya *defect inner liner* dari Bulan Agustus – Bulan Oktober

4. Preventive Maintenance pada Mesin Vacuum Forming

Preventive Maintenance harus dilakukan mengingat dari data Tabel.1 banyaknya *defect* yang terjadi pada *inner liner* tiap bulannya. Kerugian yang ditimbulkan dari *defect inner liner* juga terbilang lumayan. Hal inilah yang menjadi dasar *preventive maintenance* harus segera dilakukan untuk mengurangi *defect* yang terjadi. Beberapa *preventive maintenance* yang telah dilakukan sebagai berikut:

1) Mengganti *clamp* dan rantai yang digunakan pada mesin *vacuum forming*

Mengganti *clamp* dan rantai pada mesin *vacuum forming* bertujuan untuk mengurangi *defect inner liner* seperti *inner liner* tidak rusak, kotor dan terdapat garis. Hal ini diakibatkan sudah berkurangnya kemampuan dari *clamp* yang menjepit *inner liner* dan rantai yang membawa *inner liner* dari bagian *sheet loader* hingga selesai.



Gambar.8 Spike chain dan caterpillar

Pergantian *spike chain* dan *caterpillar* untuk mencegah lembaran plastik terlepas dari rel yang membawanya. Bila lembaran plastik terlepas dari rel maka akan menimbulkan *defect* berupa rusak maupun kotor. Sedangkan pergantian *clamp* agar lembaran plastik tidak terlepas oleh *clamp* yang dapat menimbulkan *defect* rusak, kotor maupun garis dari *clamp* sendiri apabila *clamp* meleleh saat mengalami pemanasan di bagian *heater*.



Gambar.9 Clamp pada bagian sheet loader

2) Mengganti sistem pengaturan pemanasan untuk bagian *heater*

Proses pemanasan baik pada bagian *pre-heater* maupun *heater* memiliki pengaturan masing-masing. Tiap pengaturannya memiliki perbedaan seperti waktu yang diperlukan dan suhu yang dipakai. Akibat pemanasan ini lembaran plastik dapat mengalami terlalu panas atau kurang panas. *Defect* yang tergolong terlalu panas adalah *inner liner* berurat dan *inner liner* tipis, sedangkan untuk yang kurang panas *defectnya* adalah *inner liner* tidak bentuk dan berkerut.

Untuk mengatasi permasalahan terlalu panas dan kurang panas ini diberikan tambahan-tambahan baik dari segi sistem pendinginannya maupun segi pemanasannya. Untuk sistem pendinginannya diberikan tambahan kipas angin untuk membantu pendinginan selama di bagian *forming*, sementara untuk sistem pemanasannya terlebih dahulu diberikan sensor thermokopel ditiap keramik pada *heater* agar suhunya dapat terbaca yang kemudian ditambahkan dengan sistem digital pada panel.



Gambar.10 Penambahan kipas angin untuk bagian *forming*



Gambar.11 Penambahan sensor dan pengaturan digital suhu untuk bagian *heater*

IV. Kesimpulan

Mesin *vacuum forming* merupakan salah satu mesin yang digunakan di PT.Y untuk memproduksi *inner liner* pada kulkas. Proses dari mesin *vacuum forming* dimulai dari bagian *sheet loader* hingga bagian *forming* untuk pembentukan *inner liner* agar sesuai yang diinginkan. *Inner liner* sendiri merupakan lembaran plastik yang berbahan material HIPS dan ABS yang mana keduanya ini hampir memiliki sifat yang sama.

Dalam pembuatan *inner liner* banyak ditemukan *defect* yang dapat mengurangi hasil produksi baik untuk *inner liner* sendiri maupun untuk menjadi kulkas. *Defect* terdiri dari dari beberapa sebab seperti lepas jepit, lepas rel, terlalu panas dan tidak panas. *Defect* ini dapat ditangani dengan *preventive maintenance* yang bersifat memperbaiki komponen yang sudah mulai berkurang kinerjanya hingga menambahkan komponen baru pada mesin sehingga menambah lagi kinerja mesin yang sebelumnya agar nilai *defect* dapat ditekan.

Terima Kasih

V. Daftar Pustaka

1. M. Boser, Leroy, "Thermoforming Manual and Trouble-Shooting Guide", hal. 1-20, hal. 49-66.
2. Stephens, Brian, "The Miniature Guide to Manufacturing", Moulin Publications.
3. http://www.unicgroup.com/en/02_product/03_product_detail.php?mid=22, General ABS (akses 31 Mei 2018)
4. http://www.unicgroup.com/en/02_product/03_product_detail.php?mid=31, General Purpose HIPS (akses 31 Mei 2018)

**PERENCANAAN PREVENTIVE MAINTANANCE MESIN PRESS KOMATSU L4S2000–
MB DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTANANCE**

Tsaar Prasetyo Hutomo¹; Asep Apriana^{2*}

¹Mahasiswa Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Mesin

Politeknik Negeri Jakarta Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok 16425

tsaarph25@gmail.com

²Dosen Politeknik Negeri Jakarta Jurusan Teknik Mesin

Abstrak

PT. Suzuki Indomobil Motor adalah perusahaan manufaktur produsen kendaraan roda dua dan empat, dimana salah satu proses produksinya melewati proses pembentukan komponen dengan mesin press. Mesin press adalah mesin yang digunakan dalam pembentukan logam. Salah satu mesin press tersebut adalah *Mesin Press Komatsu L4S2000 MB*. Jenis mesin tersebut adalah mesin dengan tipe mesin yang menggunakan hidrolik dengan kapasitas 2000 ton. Pada perusahaan maufakur ini, masalah yang timbul adalah ketidakepaan jadwal pada pemeliharaan komponen-komponen mesin tersebut dengan frekuensi kerusakannya yang tinggi. Data diambil dari bulan Desember 2017 sampai dengan bulan Mei 2018. Maka perlu dilakukan perbaikan jadwal agar dapat meminimalisir down time, sehingga laju produksi tetap terjaga dan kerugian dapat dihindari.

Metode yang dilakukan dengan menggunakan *Reliabilty Centered Maintenance (RCM)*. Untuk membuat jadwal yang benar, perlu diketahui *lifetime* dari setiap komponennya. Pengolahan data dilakukan dengan metode *Age Replacement*. Diawali dengan pengolahan data histori kerusakan yang berasal dari buku riwayat kerusakan, lalu diubah menjadi interval antar kerusakan dan interval antar perbaikan, yang kemudian dicari distribusinya. Setelah itu dicari rata-rata waktu kerusakan maupun perbaikannya, yang nantinya akan didapat parameter weibull, eksponen, lognormal, dan normal. Untuk pembuatan interval pergantian dan juga pemeriksaan. Interval tersebut dicari berdasarkan minimasi downtime. Dengan diketahuinya interval pergantian maupun pemeriksaan yang tepat, maka jadwal tahunan pemeliharaan untuk *Mesin press Komatsu L4S2000MB* bisa dibuat.

Berdasarkan hasil didapat tiga kmpinen kritis yang menyebabkan mesin mengalami kerusakan dan menyebabkan terhennya produksi, yaitu o-ring diafragma, magnet relay, dan sensor moving boster. Pada o-ring diafragma interval waktu pemeriksaanya 693,224 jam atau 28 hari dan interval waktu perganiannya 300 jam atau 12,5 hari, magnet relay interval waktu pemeriksaanya 1233,257 jam atau 51 hari dan inerval waktu pergantiannya 400 jam atau 16,667 hari, dan pada sensor moving boster interval waktu pemeriksaanya 749,0928 jam atau 31,288 hari dan interval waktu pergantiannya 550 jam atau 22,9 hari.

Catatan: RCM : Reliabilty Centered Maintenance

Kata kunci: Press Komatsu L4S2000 MB, Reliabilty Centered Maintenance, lifetime, Age Replacement.

Abstract

PT. Indomobil Suzuki Motor manufacturing company was a manufacturer of two-wheel vehicles, and four, where one of the production process through the process of the formation of the components with the press. Machine press is a machine that is used in the formation of the metal. One of the press machine is a machine Press Komatsu L4S2000 MB. The type of the machine is a machine with an engine type that uses hydraulic with a capacity of 2000 tons. In this maufakur companies, the problems that arise are the ketidakepaan schedule in the maintenance of tersebut engine components with a high frequency of the resulting damage. Data taken from December until may 2017 2018. Then schedule repairs need to be done in order to minimize the down time, so that the rate of production of awake and losses can be avoided.

The method is done using Reliabilty Centered Maintenance (RCM). To create a schedule that's right, I need to know the lifetime of any of its components. The data processing is done by the method of Age Replacement. Beginning with the history of data processing of damage that comes from the book history of the damage, and then converted into the

interval between the damage and the interval between repair, which are then searchable ditribusinya. After that look for damage or repair time rataaan, who obtained the parameters of weibull, lognormal, exponents, and normal. for the creation of an interval substitution and examination. These intervals are searched based on minimasi downtime. With the known interval substitution as well as proper vetting, then schedule annual maintenance for Engine Komatsu press L4S2000MB be created.

Based on the results gained three critical kompinen that cause engine damage and caused terheninya production, yaitu o-ring diaphragm, magnetic relays, sensors and moving boster. On the o-ring diaphragm checking time is 693.224 hour time interval or 28 days and intervals replacement time is 12.5 hours or 300 days, magnet relay checking time is 1233.257 hour time interval or 51 days and interval replacement time is 16.667 hours or 400 days, and on the sensor moving boster interval checking time is 749.0928 hour or 31.288 day and time interval replacement time 550 hours or 22,9 days.

Note: RCM: Reliabilty Centered Maintenance

keys: Press Komatsu L4S2000 MB, Reliabilty Centered Maintenance, lifetime, Age Replacement.

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

Mesin *press* Komatsu L4S2000-MB adalah mesin yang digunakan untuk memproduksi barang -barang *sheet metal* menggunakan satu atau beberapa *dies* dengan meletakkan *sheet metal* diantara *upper dies* dan *lower dies*.

Pada dasarnya proses pengepresan atau *stamping* sudah menggunakan sistem *automatic*, yaitu dengan menggunakan bantuan sensor disertai dengan mekasmisme gabungan yaitu mekanisme hidraulik dan pneumatik. Mekanisme pneumatik digunakan pada mesin *press* komatsu L4S 2000 MB. Mesin tersebut digunakan untuk membentuk *body* mobil. Pada mesin *press* Komatsu L4S2000-MB sering terjadi kerusakan yang menyebabkan penurunan produksi yang diakibatkan oleh penjadwalan *preventive maintanance* yang tidak sesuai. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu RCM (*Reliability Centered Maintenance*). Metode RCM digunakan untuk menentukan kebijakan *preventive maintenance* yang lebih efektif, lalu dilakukan perhitungan untuk mengihtung interval perawatan yang berfungsi sebagai jadwal *preventive maintenance* serta dilakukan perhitungan biaya perawatan usulan.

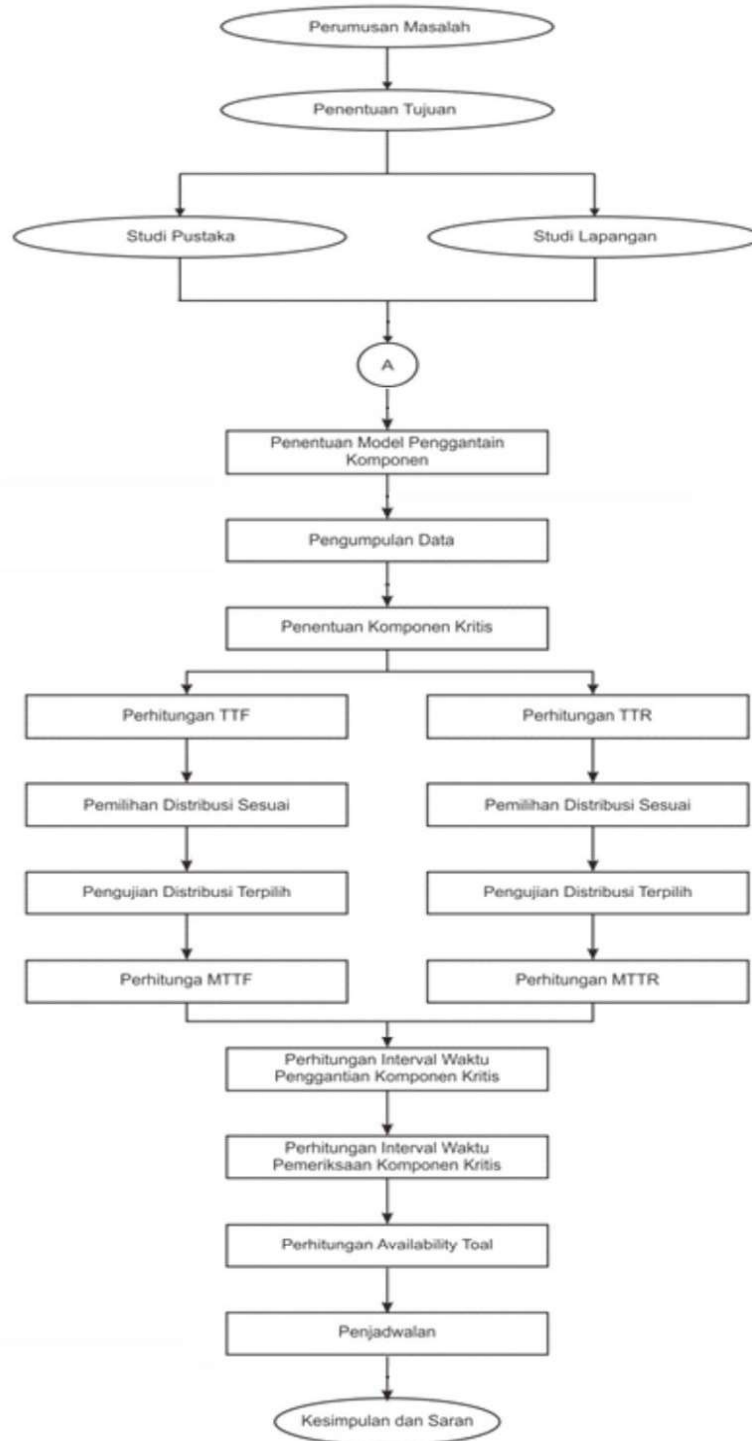
II. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Penelitian ini dimulai dengan studi lapangan. Kegiatan studi lapangan ini meliputi pengamatan terhadap kegiatan perawatan mesin dan wawancara terhadap para teknisi, supervisor, dan bagian administrasi perawatan terhadap mesin *press* Komatsu L4S2000MB. Setelah melakukan observasi mengenai kondisi di lapangan, semua permasalahan yang ada dapat diketahui sehingga masalah-masalah yang ada dapat dijabarkan di perumusan masalah.

Di dalam studi literatur, dilakukan tinjauan dan pemahaman mengenai teori-teori yang akan digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terjadi. Setelah didapatkan suatu teori atau metode yang tepat (pada penelitian ini adalah Metode Reliability Centered Maintenance), maka tahapan selanjutnya adalah mengumpulkan data-data valid, yang berguna untuk kepentingan dalam proses pemecahan permasalahan. Pengolahan data tersebut dilakukan berdasarkan atas Metode RCM.

Setelah selesai melakukan pengolahan data, maka dapat dilakukan analisis terhadap hasil yang didapat berdasarkan pengolahan data dibandingkan dengan data yang ada di lapangan (perusahaan).

Berdasarkan hasil pengolahan data dan proses yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan mengenai perawatan yang efektif. Setelah didapatkan kesimpulan maka saran dapat diberikan kepada perusahaan agar kebijakan perawatannya menjadi lebih baik. Langkah-langkah pemecahan masalah dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pemilihan Komponen Kritis

Penentuan komponen kritis dilakukan dengan penghitungan Index Prioritas. Indeks prioritas berfungsi untuk memudahkan dalam menentukan komponen kritis atau komponen yang lebih diprioritaskan. Indeks prioritas mempunyai poin A dan poin B. poin A untuk jenis pekerjaan pemeliharaan dan poin B untuk jenis inventaris.

PRIORITAS PEKERJAAN PEMELIHARAAN			PRIORITAS PERALATAN YANG DIPELIHARA		
Poin (A)		Pekerjaan Pemeliharaan	Poin (B)	Inventaris Peralatan	
5	Pemeliharaan Darurat	Kegiatan pemeliharaan yang harus dihindari, yang tidak boleh terjadi. Jika Peralatan/ mesin tersebut berhenti akan mengakibatkan kerugian yang besar.	5	Peralatan Utility	Peralatan pelayanan umum yang akan mempengaruhi kelancaran keseluruhan operasional perusahaan, seperti: supply listrik, air, udara bertekanan, dan alat-alat ukur.
4	Pemeliharaan Pencegahan-1	Kegiatan pemeliharaan pencegahan seperti pemeriksaan, penyetelan & pelumasan pada waktu mesin berjalan.	4	Peralatan Kritis	Peralatan produksi yang jumlahnya hanya satu, tidak adacadangnya dan order pekerjaannya banyak.
3	Pemeliharaan Pencegahan-2	Kegiatan pemeliharaan pencegahan seperti penggantian komponen minor yang timbul akibat dari pemeriksaan.	3	Peralatan Produksi-1	Peralatan produksi yang jumlahnya lebih dari satu dan order pekerjaannya banyak.

2	Pemeliharaan Korektif-1	Kegiatan over haul komponen atau bagian dari suatu peralatan/ mesin, misalnya gear box dari suatu peralatan, dst.	2	Peralatan Produksi-2	Peralatan produksi yang jumlahnya lebih dari satu dan order pekerjaannya sedang- sedang saja.
1	Pemeliharaan Korektif-2	Kegiatan modifikasi peralat-an/ mesin dan over haul dalam rangka rekondisi total suatu peralatan/ mesin.	1	Peralatan Umum dan Transportasi	Perabotan kantor, peralatan segala type yang jarang dipakai, kendaraan untuk kirim barang dan peralatan yang tidak langsung mempengaruhi operasional perusahaan

Tabel 1

SAFETY DEVICE	Front safety plug	3	3	9
	Emergency stop button	4	4	16
	Front safety block plug	3	3	9
	Rear safety block plug	3	4	12
	Rear portable plug	3	4	12
	safety shuter	3	3	9
	safety sensor moving bolster	3	4	12
	Front safety plug	3	3	9
	Front emergency stop button	3	3	9
	Front safety block plug	3	4	12
	Front portable plug	3	3	9
	sensor moving bolster	5	4	20
MECHANIC	Filter blower c/b	4	2	8
	Filter cover fly wheel	4	2	8
	Pneumatic valve open/close	4	3	12
	Pin plate	4	3	12
	Pin lifter	4	3	12
	Tekanan Oil Protector	4	4	16
	O-ring Diafragma	5	4	20
	Vacum Gauge Oil Tank	4	3	12
	Pressure Gauge Oil Tank	4	4	16

	Up Die Clamper	4	3	12
	Gear	3	3	9
	Timing Belt	3	3	9
	Encoder	3	3	9
ELECTRIC	sensor light	4	4	16
	magnet contactor	3	4	12
	point contactor	3	4	12
	Rotary cam switch (Roller)	3	3	9
	Rotary cam switch (Contact point)	3	3	9
	Magnet relay	5	4	20
	Coupling rotary cam switch	3	3	9
	Safety gate	4	4	16
	Proximity	4	4	16

Tabel 2 komponen mesin

Diambil nilai tertinggi, yaitu sensor moving bolster, o-ring diafragma, dan magnet relay.

2. Perhitungan MTTF dan MTTR

Komponen	Disribusi	Parameter	Nilai MTTF
Sensor moving bolster	Normal	$\mu = 237,1376$	237,1376 Jam
O-ring diafragma	Eksponen	$\lambda = 0,002312$	432,9 Jam
Magnet relay	Eksponen	$\lambda = 0,00219$	474,148 Jam

Tabel 3 distribusi MTTF

Komponen	Disribusi	Parameter	Nilai MTTR
Sensor moving bolster	Normal	$\mu = 0,79$	0,79 Jam
O-ring diafragma	Eksponen	$\lambda = 0,2109$	4,7415 Jam
Magnet relay	Eksponen	$\lambda = 0,948$	1,0548 Jam

Tabel4 distribusi MTTR

Didapat interval waktu pemeriksaan dan interval waktu Pergantian

No	Komponen	Interval Waku Pemeriksaan	Inerval Waku Pergantian
1	O-ring Diafragma	693,224 jam atau 28 hari	300 jam atau 12,5 hari
2	Sensor Moving Bolser	1233,257 jam atau 51 hari	400 jam atau 16,667 hari
3	Magne Relay	749,0928 jam atau 31,288 hari	550 jam atau 22,9 hari

Tabel 5 interval waktu pemeriksaan dan interval waktu Pergantian

IV. KESIMPULAN

- a. Pada o-ring diafragma interval waktu pemeriksaanya 693,224 jam atau 28 hari dan interval waku perganiannya 300 jam atau 12,5 hari, magnet relay interval waktu pemeriksaanya 1233,257 jam atau 51 hari dan inerval waku pergantiannya 400 jam atau 16,667 hari, dan pada sensor moving boster interval waku pemeriksaanya 749,0928 jam atau 31,288 hari dan interval waktu pergantiannya 550 jam atau 22,9 hari.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Corder, Antony. 1992. Teknik Manajemen Pemeliharaan. Jakarta : Erlangga
- [2] J. Moubray, Reliability-Centered Maintenance II, 2nd Edition, Butterworth-Heinemann, 1997, Oxford.
- [3] Ebeling, C. E, 1997, An Introduction To Reliability and Maintainability Engineering. Singapore: The McGraw-Hill Companies
- [4] Taufik, Manarul. 2011. Kerusakan Mesin dan Trouble Shooting

PERBAIKAN SUPPORT TAIL PULLEY PADA 291-BC3 UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS PRODUKSI PT. HOLCIM INDONESIA Tbk TUBAN PLANT

Ezra Herlyan Putra¹, Seto Tjahyono¹, Suradi²

¹ Politeknik Negeri Jakarta, Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia, Telp: (62-21) 7863530,
Fax: (62-21) 7863530, ezraherlyan.holcim@gmail.com

Abstrak

Belt Conveyor adalah salah satu transportasi material dari satu tempat ke tempat yang lain. Salah satu Belt Conveyor yang penting di PT. Holcim Indonesia Tbk. Plant Tuban adalah 291-BC3, Belt Conveyor ini merupakan satu-satunya jalur yang memasok material limestone dan clay untuk bahan utama semen. Bagian utama belt conveyor adalah tail pulley, head pulley, counter weight dan rangka. Permasalahan yang terjadi saat ini adalah kerusakan pada Support Tail pulley yang mengalami bending dan melintir. Karena dengan terjadinya bengkok dan melintir pada Support dapat menyebabkan shaft Missalignment terhadap Bearing. Dampak dari Missalignment tersebut adalah kerusakan pada bearing, dengan durasi 3 bulan sekali akan rusak dan harus di ganti. Dan karena hal tersebut maka equipment akan sering stop untuk pergantian bearing. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut diatas, maka perlu dilakukan modifikasi yaitu dengan meningkatkan kekakuan pada support dengan cara menambah penguat berupa plat yang ditambahkan pada sisi support. Penambahan dilakukan dengan proses pengelasan. Dengan dilakukannya modifikasi pada support maka diharapkan konstruksi support dapat menjadi lebih kuat menahan beban dan getaran sehingga bearing tidak cepat rusak, dan proses produksi akan meningkat.

Kata kunci : *Belt Conveyor, Support, Bearing, Missalignment.*

Abstract

Belt conveyor is an equipment that transports material from one place to another place. One of the important BC at PT Holcim Indonesia Tbk. Tuban Plant is 291-BC3 that is the only one to supply limestone and clay as main components of cement. Because of that, some fatal damage that can cause it to stop must be preventively anticipated. Support of the tail pulley is crucial for this equipment. A problem that recently happened is bending on this supporting shaft. It causes some domino effects, such as bearing damage and unexpected movement of the shaft. Those take up to five days to overcome since the complex maintenance procedure. Thus, modification of the support should be taken in order it is able to prop up the tail pulley, so some damage on the other part will not come.

Keywords : *Belt Conveyor, Support, Bearing, Missalignment.*

1. PENDAHULUAN

Proses pembuatan semen di PT Holcim Indonesia Tbk terbagi menjadi 6 tahapan, pertama penambangan bahan mentah dan (*quarrying*) untuk mendapatkan bahan baku pembuatan semen berupa batu kapur dan tanah liat, kedua penghancuran bahan baku mentah untuk mendapatkan ukuran yang diinginkan (*chusing*), ketiga penggilingan bahan baku (*grinding*) yang terjadi di Raw Mill untuk menghasilkan *rawmeal*, keempat pembakaran (*burning*) yang terjadi di Preheater dan Kiln untuk menghasilkan *clinker*, kelima penggilingan akhir di Finish Mill yang akan menghasilkan semen serta keenam pengepakan semen di Packhouse sampai akhirnya semen siap untuk di distribusikan. Setiap tahapan diatas saling berkesinambungan, sehingga saat salah satu proses mengalami gangguan seperti kerusakan alat misalnya, maka proses selanjutnya juga ikut terganggu. Perawatan (*maintenance*) alat dilakukan secara rutin guna memastikan bahwa alat selalu dalam kondisi prima untuk melakukan proses produksi semen. Tentu akan dijumpai saat dimana alat tersebut mengalami kerusakan mendadak (*breakdown*) atau membutuhkan waktu perawatan yang menghentikan proses produksi. Terhentinya proses produksi karena kerusakan mendadak menyebabkan kerugian yang cukup besar.

1.1 LATAR BELAKANG

Belt Conveyor merupakan alat *transport* yang pada umumnya digunakan setiap pabrik untuk mempermudah pemindahan material dari suatu tempat ke tempat yang lain, baik secara mendatar ataupun dengan kemiringan tertentu, maupun dengan jarak tertentu. *Belt Conveyor* bergerak karena adanya motor yang mentransmisikan dayanya ke *head pulley*, kemudian *head pulley* menarik *belt* dengan arah gerakan sesuai dengan arah *head pulley*. Dibagian belakang *Belt Conveyor* terdapat *tail pulley* yang berfungsi untuk meringankan beban yang ditarik *head pulley*.

Di Tuban *Plant* memiliki dua *Plant* yang aktif beroperasi, keduanya membutuhkan suplai material. Dan sekitar 70% Material yang dibutuhkan untuk *Plant* Tuban di suplai dari *crusher quarry*. Namun *Crusher quarry* hanya memiliki satu jalur *Belt Conveyor* dan Jika jalur ini mengalami masalah yang diharuskan untuk dihentikan maka proses prouksi akan ikut terhenti. Maka pada semua bagian bagian *Belt conveyor* ini harus berfungsi dengan optimal.

Pada bagian *tail pulley* terdapat *support* yang berfungsi sebagai penopang utama *plumer block* yang memiliki fungsi utama yaitu menopang *shaft tail pulley*. Oleh karena pentingnya fungsi *tail pulley* maka *support* yang menopang haruslah kuat, Terdapat *deformation* sedikitpun akan sangat berakibat fatal terhadap umur *bearing*. Karena ketika *support* terjadi bengkok kedudukan *shaft* akan missalignment terhadap *bearing* dan diperkirakan dalam waktu 3 bulan *bearing* akan rusak. Ketika *bearing* sudah mencapai batasnya, dan hingga merusak *shaft*. *Belt Conveyor* akan terhenti dan dalam proses penggantian *shaft* dan *bearing* akan memakan waktu cukup lama,

Oleh karena itu diperlukan perbaikan pada *support tail pulley* untuk memperkaku konstruksi *support*. Dengan cara menambahkan penguat pada tiang *support* dan juga menambahkan *plate* pada sisi *support* dengan cara dilas maka diharapkan dapat menjadi lebih kuat menahan beban maupun getaran.

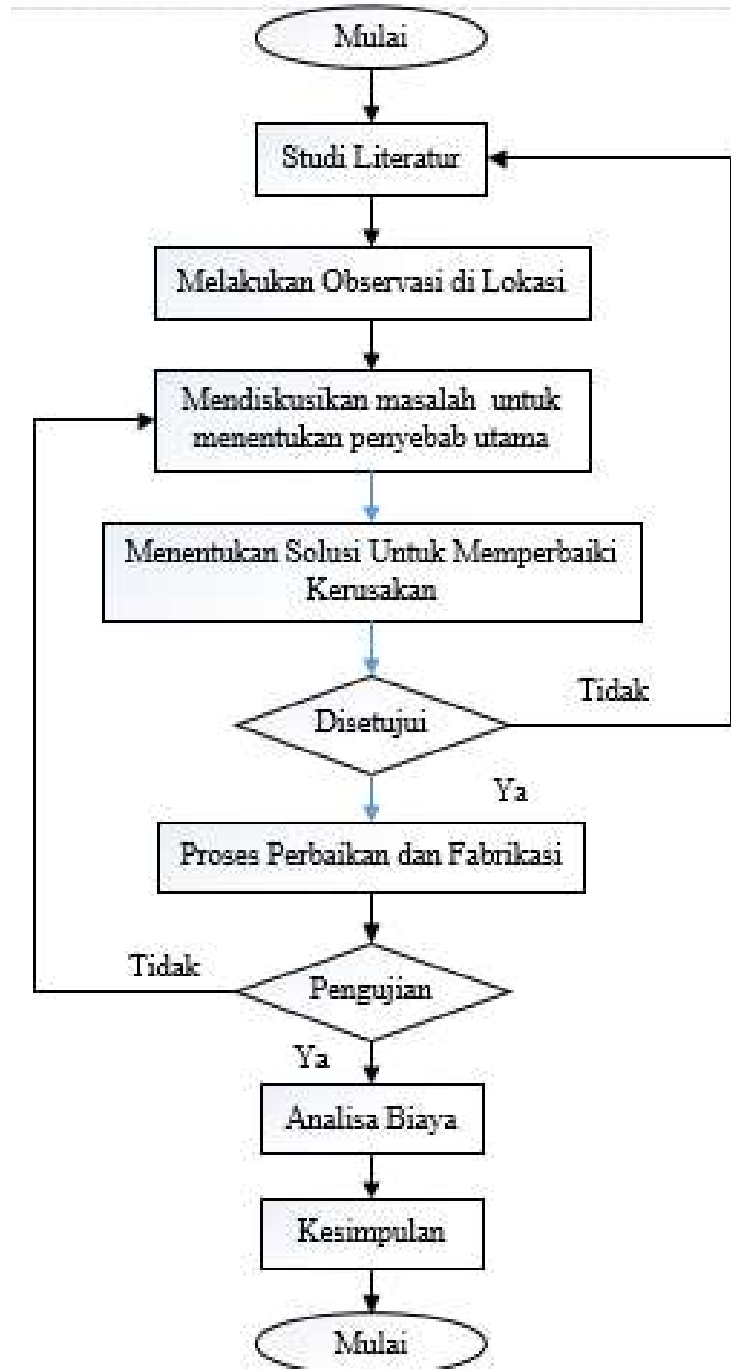
1.2 TUJUAN

Adapun tujuan dari perbaikan posisi *air blaster* pada *kiln inlet* antara lain :

1. Membuat Desain Baru untuk *Support Tail Pulley 291-BC3*
2. Menekan biaya yang di keluarkan untuk penggantian *bearing* dan *shaft*
3. Modifikasi *Support Tail Pulley 291-BC3* agar berdampak terhadap umur *bearing* dan *shaft*

2. METODE PERBAIKAN

Metode penelitian yang digunakan, digambarkan dengan diagram alir dibawah ini



Gambar. 1 diagram alir metode dan penelitian

3. HASIL & PEMBAHASAN

3.1 Cost effect

Dari hasil observasi yang dilakukan selama masa spesialisasi di Departemen Mechanical Raw Material Preparation and Jetty PT.Holcim Indonesia Tbk. Pabrik Tuban. Terdapat permasalahan dari awal belt conveyor digunakan yaitu sering rusaknya bearing tail pulley bahkan pada kondisi ekstrim shaft akan mengalami kerusakan juga. Sejak Tahun 2014 hingga sekarang bearing tail pulley akan mengalami kerusakan 3 bulan sekali maka akan berdampak pada biaya perbaikan yang dikeluarkan per tahun. Proses perbaikan bearing dapat memakan sehari penuh. Dibawah ini ada perkiraan jumlah biaya yang dikeluarkan pertahun untuk penggantian bearing.

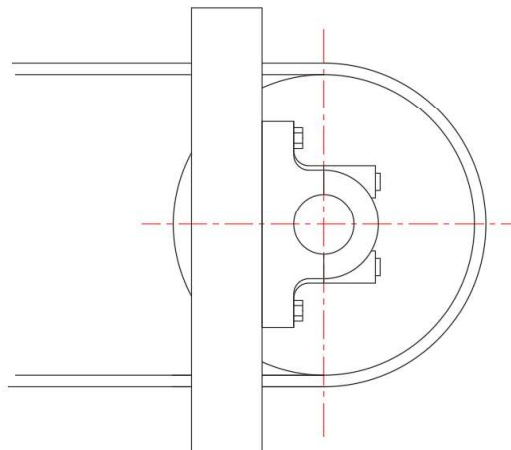
Description	qty	cost	unit	total in a year
man power in a days	3	217000	RP/day	7812000
Bearing	2	960000	Rp/ea	7680000
				15492000

Tabel. 1 cost effect

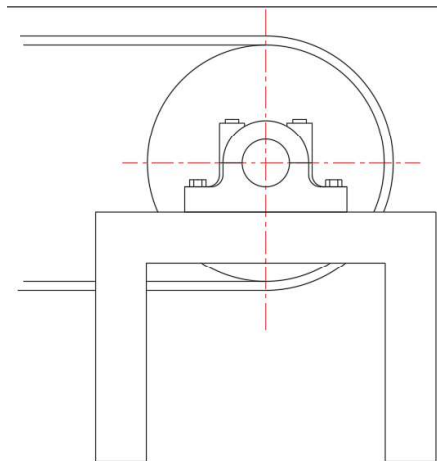
Jadi, biaya yang di butuhkan secara rutin dalam setahun yaitu berkisar Rp. 15.492.000,-. Masalah ini dialami sejak 4 Tahun lalu, maka perkiraan biaya yang telah keluar sebesar Rp. 61.958.000,-. Perlu dilakukan observasi lebih lanjut untuk mengatasi masalah ini.

3.2 Observasi

Ada dua jenis support pada tail pulley yang umum digunakan, yaitu secara horizontal dan vertical, kedua jenis posisi ini memiliki kekurangan dan kelebihan.

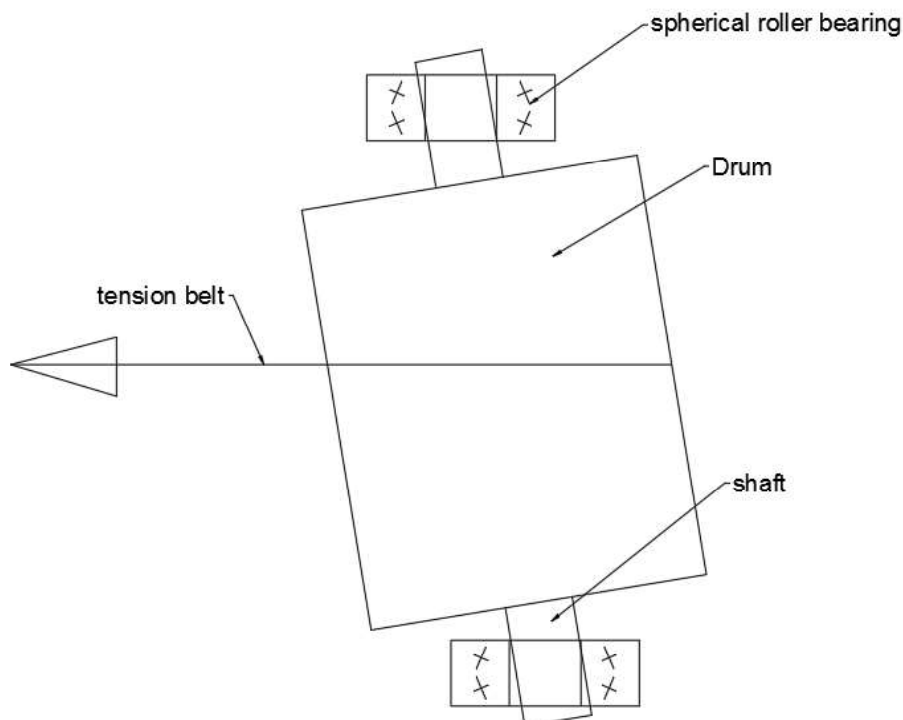


Gambar. 2 vertical support



Gambar. 3 horizontal support

Support bearing tail pulley dengan design horisontal memiliki kelebihan dalam segi kekuatan konstruksinya, karena dalam keadaan belt conveyor hunting maupun terdapat guncangan support seperti ini cenderung rigid, tetapi kekurangannya adalah dalam segi maintenance. Pengecekan bearing akan sulit untuk dilakukan karena kondisi belt harus dalam keadaan tidak tension. Ditambah lagi beban akan terpusat pada pillow block itu sendiri. Namun berbeda dengan support bearing tail pulley dengan design vertikal justru memiliki kelebihan dalam segi maintenance. Pengecekan kondisi bearing dilakukan dengan cara membuka penutup pillow block jadi dalam posisi vertikal sangat mudah dilakukan walau belt conveyor dalam keadaan tension. Namun ada beberapa kerugian yaitu support yang digunakan akan cenderung kurang rigid jika design support tidak benar-benar kuat.

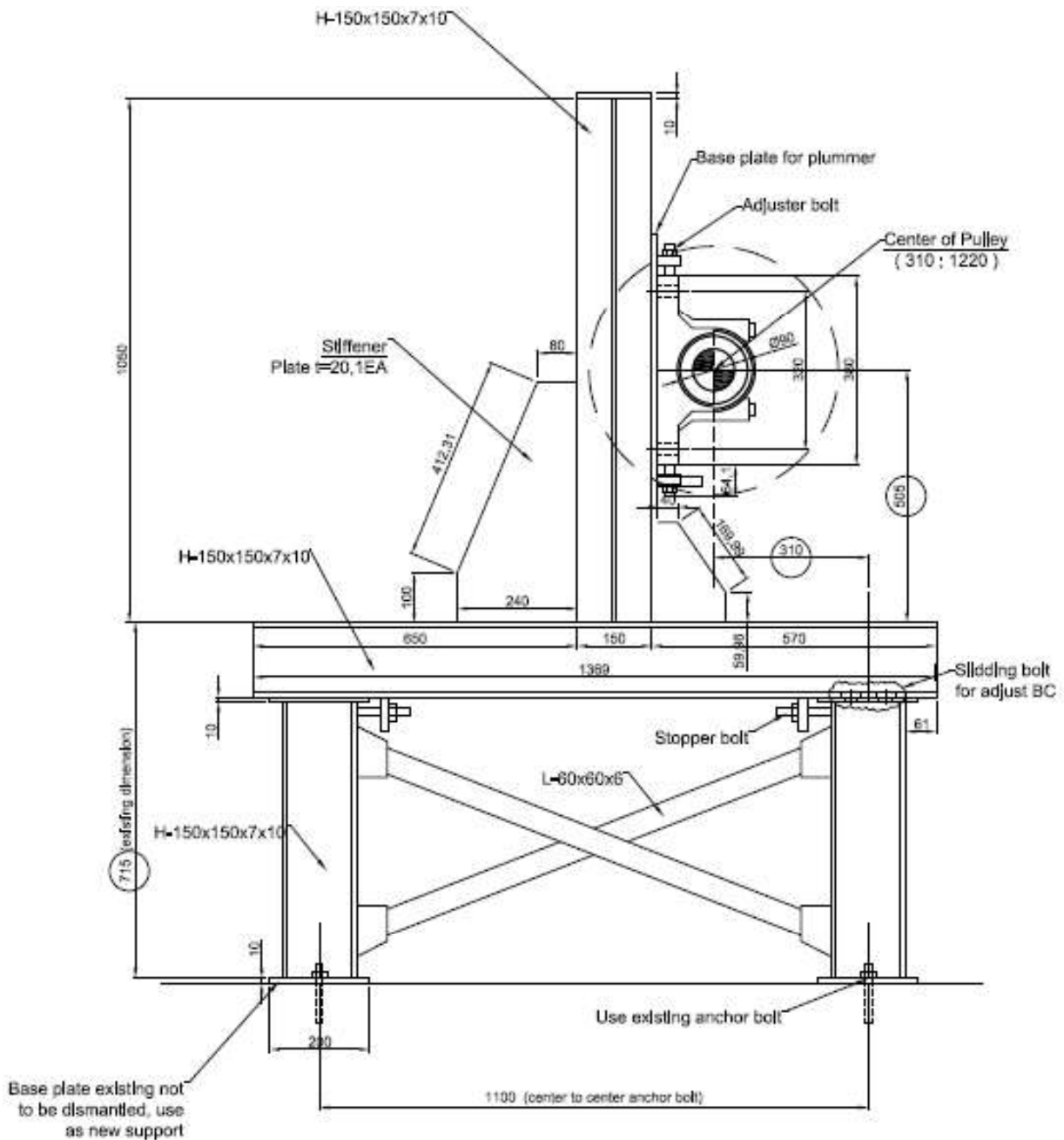


Gambar. 4 bearing tidak center

Ketika salah satu support vertical mengalami bending maka kedudukan antar bearing akan tidak center, maka pasti akan berpengaruh pada bearing karena posisi shaft akan miring seperti pada gambar dan tension belt akan tidak tertopang bearing secara merata, akibatnya salah satu sisi bearing mengalami kerusakan dan akan menular ke semua bagian bearing. Dan akibatnya bearing akan cepat rusak dalam waktu yang dekat. Jika bearing sudah hancur dan melukai shaft maka proses perbaikan akan memakan waktu kira-kira 2 hari. Perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut tentang kekuatan support yang terpasang.

3.3 Perhitungan design awal

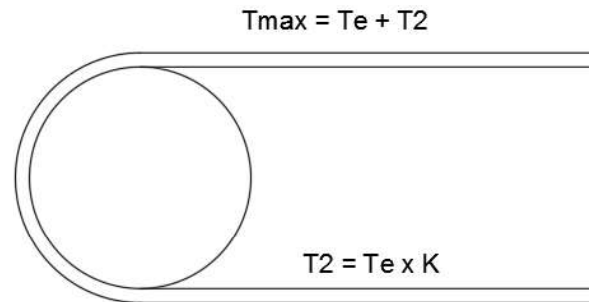
Pada belt conveyor 291-BC3 menggunakan support jenis vertikal. Salah satu supportnya mengalami bending dan mengakibatkan kerusakan pada bearing dalam waktu dekat.



Data-data yang dapat diambil dari belt conveyer untuk mencari gaya yang bekerja pada support

3.3.1 Gaya yang bekerja

Diketahui = $Power (P) = 120 [kW]$
 $Putaran drive drum (N) = 94,03 [\frac{Rev}{m}]$
 $Dia. drive drum (D) = 660 [mm]$
 $Drive factor for lagged take up pulley (K) = 0.5$
 Ditanya = $Gaya yang bekerja(F) = ?$
 Dijawab =



Mencari keliling drum 1

$$C = \pi \times D$$

$$C = 3,14 \times 660 [mm]$$

$$C = 2072 [mm]$$

$$C = 2,072 [m]$$

Mencari putaran drum dalam second 2

$$N = 94,03 \frac{Rev}{m} \div 60 \frac{s}{m}$$

$$N = 1,566 \frac{Rev}{s}$$

Mencari kecepatan belt conveyer 3

$$v = N \times C$$

$$v = 1,566 \left[\frac{rev}{s} \right] \times 2,072 [m]$$

$$v = 3,244 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Mencari Tension effective 4

$$T_e = \frac{P}{v}$$

$$T_e = \frac{120 [kW]}{3,244 \left[\frac{m}{s} \right]}$$

$$T_e = 40 [kN]$$

Mencari tension slack 5

$$T_2 = T_e \times K$$

$$T_2 = 40 [kN] \times 0,5$$

$$T_2 = 20 [kN]$$

Mencari tension maximal 6

$$T_{max} = T_e + T_2$$

$$T_{max} = 40 [kN] + 20 [kN]$$

$$T_{max} = 60 [kN]$$

Mencari gaya total yang bekerja pada salah satu support

$$F = \frac{T_{max} + T_2}{2}$$

$$F = \frac{60 [kN] + 20 [kN]}{2}$$

$$F = \frac{80 [kN]}{2}$$

$$F = 40 [kN]$$

7

Jadi, gaya yang bekerja pada salah satu support adalah 40 kN

3.3.2 Kekuatan support sebelum diperbaiki

Diketahui = $F = 40 [kN]$

$$L = 505 [mm]$$

$$\text{Axial Section Modulus } (W) = 219000 [mm]^3$$

$$\text{Yield strength S235 } (R_e) = 235 N/mm^2$$

$$\text{Moment Inertia WF150x150x7x10 } (I) = 1640 [cm^4]$$

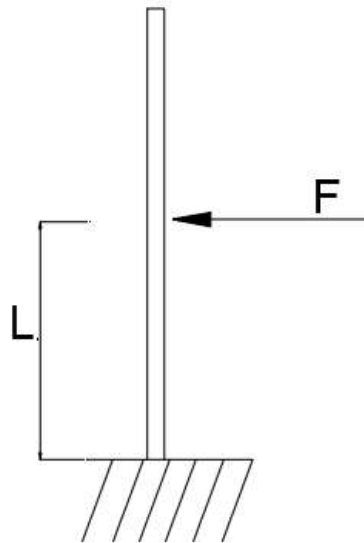
$$\text{Safety factor untuk steel alloy dinamic load } (V) = 3$$

$$\text{Modulus elastisitas } (E) = 210000 N/mm^2$$

Ditanya = Bending stress (σ_b) = ?

$$\text{Allowable stress } (\sigma_{b,allow}) = ?$$

Jawab =



Mencari bending moment

$$M_b = F \times l$$

$$M_b = 40 [kN] \times 505 [mm]$$

$$M_b = 20200 [kNmm]$$

8

Mencari bending stress

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W}$$

$$\sigma_b = \frac{20200 [kNmm]}{219000 [mm]^3}$$

$$\sigma_b = 0,09223 [kN/mm^2]$$

$$\sigma_b = 92,23 [N/mm^2]$$

9

Mencari allowable stress

$$\sigma_{b,allow} = \frac{R_g}{V} \quad 10$$

$$\sigma_{b,allow} = \frac{235N/mm^2}{3}$$

$$\sigma_{b,allow} = 78,333 [N/mm^2]$$

Karena bending stress berada lebih besar dari stress yang diijinkan maka perlu di hitung berapa defleksi yang terjadi.

$$f = \frac{F x l^3}{3 x E x I} \quad 11$$

$$f = \frac{40000 [N] x 505^3 [mm]}{3 x 210000 [N/mm^2] x 1640 x 10^4 [mm^4]}$$

$$f = \frac{5,151505 x 10^{12} Nmm}{1,332 x 10^{12} Nmm^2}$$

$$f = 0,3 [mm]$$

Jadi, support saat ini mengalami bending dikarenakan bending stress yang dialami lebih besar dari bending stress yang diijinkan, dan defleksi yang dialami 0,3 [mm]

3.3.3 Bearing life calculation

Bearing yang digunakan adalah 22220 EK yaitu Spherical Roller Bearing dengan data yang di dapat adalah sebagai berikut :

$$N = 78,35 [Rpm]$$

$$p = 10/3 [\text{exponent of the life equation}]$$

$$C = 433 \text{ kN [Basic Dinamic Load]}$$

$$P = 40 \text{ kN [Equivalent Bearing Load]}$$

Di cari umur bearing [L10h] = Rating life [h]

Jadi,

$$L_{10h} = \frac{[C \div P]^p x 10^6}{60 x N}$$

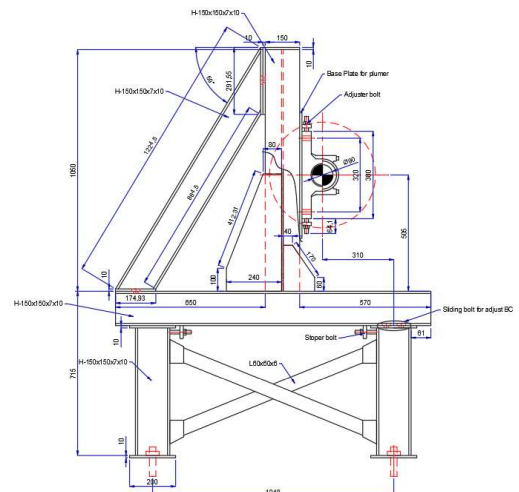
$$L_{10h} = \frac{[433 \div 40]^{\frac{10}{3}} x 10^6}{60 x 78.35}$$

$$L_{10h} = 596854 \text{ h}$$

$$L_{10h} = 69 \text{ Years}$$

3.3.4 Perbaikan design support

Desain baru support tail pulley 291-BC3 yaitu dengan menambahkan stiffener pada salah satu sisi tiang support untuk memperrigid strukture.



4. KESIMPULAN

Dari perbaikan ini didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Perbaikan support tail pulley adalah sebagai bentuk improvement pada strukture tail pulley di belt conveyor
2. Karena tidak seringnya dilakukan perbaikan pada bearing maka waktu yang digunakan untuk perbaikan dapat digunakan untuk keperluan operational. Maka perbaikan selama 1 hari setiap 3 bulan akan tidak ada lagi
3. Kerugian yang dialami untuk biaya pergantian bearing berkisar Rp. 15.492.000,-/tahun, dapat dipangkas menjadi Rp. 1.177.000,-/69tahun

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih di ucapkan kepada Bapak Seto Tjahyono, S.T, M.T., Bapak Suradi, karyawan dan kontraktor PT. Holcim Indonesia Tbk Pabrik Tuban atas kerja samanya di kegiatan ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Australia, F. D. (2009). *Conveyor Handbook*. Australia: Fenner Dunlop Conveyor Belting World Wide.
- [2] Fischer, U. (2016). *Mechanical and Metal Trades Handbook*. Germany: Verlag Europa Lehrmittel.
- [3] SKF. (2010). *SKF Bearing Maintenance Handbook*. Sweden: SKF Group 2010.
- [4] *Special Steel Suppliers Home Page*. (2018, juni 1). Diambil kembali dari Special Steel Suppliers: www.steelss.com

Perawatan Turbin Angin Di Kampung Bungin Bekasi

Iwan Cahyono¹⁾, Seto Tjahyono²⁾,

¹Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof.Dr.G.A.Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 021-7270044,
Email: iwancahyono19@gmail.com

Abstrak

Turbin angin adalah teknologi untuk mengoversikan energi kinetik menjadi energi mekanik. Salah satunya adalah dikonversikan menjadi energi listrik. Istilah yang digunakan di Indonesia apabila turbin angin digunakan sebagai pembangkit listrik adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau kincir angin, dalam teks ini selanjutnya disebut Turbin Angin, adalah teknologi pembangkitan listrik dari sumber energi angin. Turbin Angin tipe HAWT-TSD-500W yang berlokasi tepatnya di pesisir Kampung Bungin, Kecamatan Muara Gembong, Kabupaten Bekasi, dapat menghasilkan daya listrik sebesar 500 watt, konstruksi turbin terdiri dari blade, poros, generator dan di pasang dengan ketinggian 10 meter. Turbin mengkonversi energi kinetik dari aliran angin menjadi energi mekanik melalui baling-baling dan poros, energi mekanik ini dapat dikonversikan lebih lanjut. untuk menjadi bentuk energi lainnya sesuai dengan kebutuhan. Salah satunya adalah dikonversikan menjadi energi listrik. Turbin beroperasi sejak bulan September 2017 dan kondisi turbin saat ini berheti dikarenakan rusak. Kerusakan tersebut dimungkin karena tidak adanya schedule perawatan yang diterapkan pada instalasi turbin Angin tersebut.

Kondisi lingkungan dimana turbin tersebut dipasang mengandung asam yang korosif menyebabkan blade korosi dan menyebabkan blade patah, kawat sling penegang menara korosi dan putus.

Dengan durasi pengoperasian mesin 24 jam per hari maka mesin membutuhkan pemeliharaan rutin. Permasalahan yang terjadi adalah adanya gangguan serius yang mengarah pada tingkat kerusakan baik secara mekanik maupun elektrik. Maka dibutuhkan tindakan pemeliharaan terjadwal agar Turbin Angin dapat beroperasi pada keandalan yang baik. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan jadwal preventive maintenance beserta SOP-nya. Hasil akhir kegiatan ini adalah pembuatan jadwal pemeliharaan harian, bulanan, dan tahunan beserta SOP dari Instalasi tersebut. .

kata kunci :pembangkit listrik,turbin angin,pemeliharaan,blade.

Abstract

Wind turbines are technologies at converting kinetic energy into mechanical energy. One of them is converted into electrical energy. The term used in Indonesia when a wind turbine is used as a power plant is a Bayu Power Plant (PLTB). Bayu Power Plant (PLTB) or windmill, in this text hereinafter called Wind Turbine, is a technology of electricity generation from wind energy source. Wind turbine type HAWT-TSD-500W located precisely on the coast of Kampung Bungin, Muara Gembong Subdistrict, Bekasi Regency , can generate 500 watts of electrical power, turbine construction consists of blade, shaft, generator and in pairs with a height of 10 meters. Turbines convert kinetic energy from wind flow into mechanical energy through the propeller and shaft, this mechanical energy can be converted further. to become another form of energy as needed. One of them is converted into electrical energy. Turbine operates since September 2017 and turbine conditions are now damaged due to damage. The damage is possible due to the absence of maintenance schedules applied to the installation of the Wind turbine.

The environmental conditions in which the turbine is mounted contain corrosive acids causing corrosive blades and causing blade fractures, corrosive towing corrosion slicing wires and breaking up.

With the duration of operation of the machine 24 hours per day then the machine requires regular maintenance. The problem that occurs is a serious disturbance that leads to damage levels both mechanically and electrically. So it takes a scheduled maintenance action so that the Wind Turbine can operate on good reliability. This research is conducted to determine the preventive maintenance schedule along with its SOP. The final result of this activity is the preparation of daily maintenance schedule, monthly, and annual SOP from the installation .

keywords: power plant, wind turbine, maintenance, blade.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi listrik merupakan bentuk energi yang umum untuk ditransmisikan dari satu tempat ke tempat lain. Masyarakat memanfaatkan energi listrik yang ditransmisikan ke tempat mereka sebagai sumber energi berbagai peralatan penunjang kehidupan. Mengingat begitu pentingnya bagi masyarakat, maka energi listrik menjadi salah satu indikator kesejahteraan masyarakat. Indikator tersebut terkait dengan akses masyarakat terhadap energi listrik.

Sebagai daerah percontohan adalah Kampung Bungin, Kecamatan Muara Gembong, Kabupaten Bekasi. Pada tahun 2014 peneliti dan tim yang di bimbing oleh Prof. Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng. memasang Kincir angin skala kecil di Muara Gembong. Daerah yang tidak jauh dengan ibu kota Jakarta namun memiliki akses listrik yang terbatas. Suplai listrik yang didapat tidak stabil, frekuensi terjadinya pemadaman listrik cukup tinggi. Padahal, daerah yang terletak di pesisir pantai ini memiliki potensi wisata serta keanekaragaman hayati laut yang melimpah. Namun daerah ini sulit berkembang karena beberapa faktor, termasuk pengaruh besarnya terjadi karena kurangnya suplai listrik. Oleh karena itu dalam usaha pemenuhan suplai listrik dan pengembangan bisnis di daerah tersebut, perlu intervensi teknologi pembangkit listrik energi terbarukan. Salah satunya adalah turbin angin, sebab daerah pesisir pantai seperti ini memiliki sumber energi terbarukan berupa energi angin.

Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) atau kincir angin, dalam teks ini selanjutnya disebut Turbin Angin, adalah teknologi pembangkitan listrik dari sumber energi angin. Di Muara Gembong telah diimplementasikan turbin angin skala mikro sebagai pemenuh kebutuhan listrik masyarakat. Implementasi tersebut menggunakan turbin angin produksi Jepang, *The Sky Dancer* (TSD-500) yang dapat menghasilkan listrik *peak* sebesar 500 W ketika kecepatan angin 12 m/s. Namun, setelah melakukan pengamatan ternyata performa turbin angin tersebut masih belum optimal. Hal ini karena dalam pengoperasinya sistem ini mengalami banyak kendala diantaranya, *blade* yang korosi, *Tower* dan kawat sling yang korosi, hingga *controller system* yang tidak bekerja. Masalah-masalah tersebut mengakibatkan instalasi turbin angin berhenti beroperasi. Hal lain yang mengakibatkan rusak dan terhentinya operasi instalasi turbin angin dikarenakan sejak instalasi turbin angin tersebut tidak diterapkan sistem perawatan dikarenakan tidak adanya SOP dan penjadwalan perawatan.

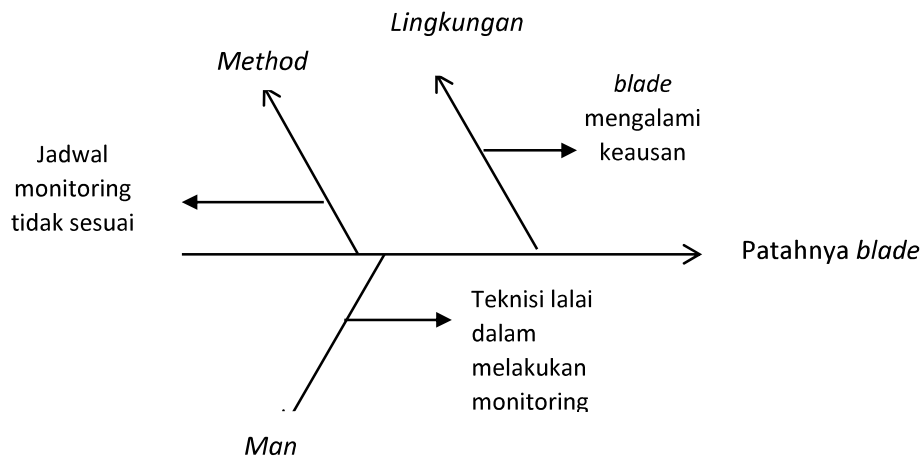
1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini agar pembahasan dapat tercapai sebagai berikut:

1. Menyusun jadwal kegiatan pemeliharaan yang tepat pada Instalasi Turbin Angin.
2. Menyusun SOP (*Standard Operating Procedure*) pada Instalasi Turbin Angin.

II. METODE PENELITIAN

Dalam analisa ini, penulis menggunakan metode *fishbone* diagram dan mengambil 3 faktor penyebab terjadinya kerusakan, 3 diantaranya adalah *man power*, *method*, dan *lingkungan*. Hal tersebut penulis lakukan bertujuan untuk mempermudah pekerjaan penulis dalam menganalisa masalah tersebut.



Gambar 1. fishbone method diagram

Faktor-faktor yang mempengaruhi patahnya *blade* pada turbin angin

a. *Method*

- Jadwal monitoring yang tidak sesuai

Hal inilah yang menjadi dasar masalah patahnya *blade turbin angin*, karena proses monitoring adalah satu-satunya hal yang dapat dilakukan untuk menjaga agar tidak terjadi breakdown akibat patahnya *blade*, jadwal monitoring harus sesuai dengan waktu operasi turbin angin, mengingat waktu operasi adalah 24 jam non-stop, maka jadwal monitoring yang baik adalah 1 x 24 jam.

b. *Man*

- Teknisi lalai dalam melakukan monitoring

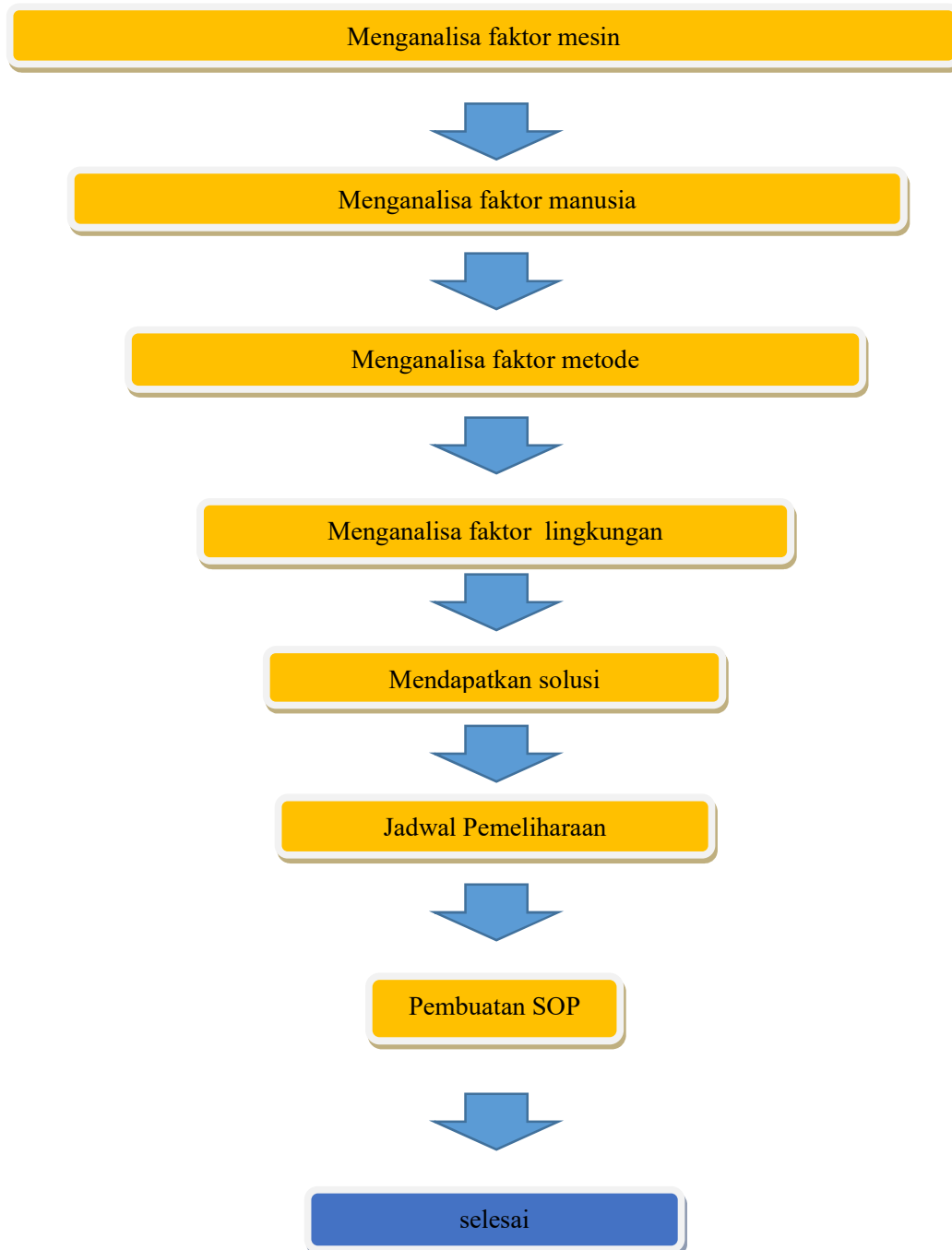
Selain dari tidak sesuainya jadwal monitoring, kelalaian teknisi pun menjadi masalah yang mengakibatkan breakdown pada *blade turbin angin*, jika jadwal monitoring sudah baik namun teknisi lalai dalam melakukan monitoring maka hasilnya akan sama, karena yang dapat mendeteksi masalah dan menentukan kondisi pada *blade turbin angin* hanyalah teknisi.

c. *Lingkungan*

- *Blade* mengalami keausan.

Karena kondisi lingkungan yang merupakan daerah pesisir menyebabkan cepatnya proses korosi bagi sistem tersebut menyebabkan *blade* korosi dan menyebabkan *blade* patah, kawat sling penegang menara korosi dan putus,

Untuk mempermudah penulis dalam menganalisa kerusakan dan memberikan solusi maka di tampilkan dalam bentuk bagan seperti di bawah ini.



Gambar. 2 *Flowchart* Metode Penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

Wawancara

- Mesin, apakah di mesin turbin terjadi kerusakan ?
- Manusia, apakah tidak ada perawatan pada turbin angin ?
- Metode, apakah perawatan terhadap turbin angin sudah benar ?
- Material, apakah material yang di gunakan sudah sesuai ?

Setelah mencari jawaban dari pertanyaan di atas dengan cara wawancara pada teknisi lapangan, di peroleh jawaban yaitu

- Mesin turbin masih baru karena kerusakan *blade* tersebut terjadi pada awal bulan januari 2017 dan rusak di awal bulan februari 2017 sehingga mesin di pastikan masih dapat beroperasi.
- Factor manusia bisa berpengaruh karena dari awal pemasangan sampai terjadinya kerusakan tidak ada perawatan terhadap turbin angin.
- Metode pembuatan *blade* yaitu dengan menggunakan metode tradisional yaitu setiap tahap pembuatan belum ada standarnya seperti data kelembaban kayu dan di dapat informasi bahwa saat proses pengecatan *blade* kayu belum benar-benar kering.
- Material yang di gunakan yaitu dengan menggunakan grade harga yang paling murah dan bahnya dari sambungan-sambungan.

Solusi

Dari hasil jawaban yang di dapat maka solusi yang di tawarkan adalah

- Harus ada perawatan terhadap turbin angin
- Material yang di gunakan harus di naikan gradenya dan harus satu buah kayu.
- Karena kondisi lingkungan yang merupakan daerah pesisir menyebabkan cepatnya proses korosi bagi sistem tersebut menyebabkan *blade* korosi dan menyebabkan *blade* patah, kawat sling penegang menara korosi dan putus,



Gambar 3. Turbin yang berkarat

Adapun solusi untuk mengatasi hal ini yaitu tindakan pemeliharaan terjadwal agar Turbin Angin dapat beroperasi pada keandalan yang baik. serta dengan menentukan jadwal preventive maintenance beserta SOP-nya. secara lebih spesifik yaitu perlu dilakukanya pelapisan menggunakan cat anti karat dalam jangka waktu tertentu.

- Karena saat ini *blade* turbin angin tersebut terbuat dari material kayu dimana kayu mudah keropos dan patah. Hal ini dapat diatasi dengan melakukan improvement material dari *blade* turbin angin

tersebut, dimana material dapat diganti dengan fiber atau aluminium disertai dengan perawatan dan pengecatan anti karat pada *blade*



Gambar 4. *blade* yang keropos

Standard operasi prosedur (SOP) pada kincir angin

Prosedur pengecekan turbin angin berdasarkan kondisi lingkungan dan berbagai referensi buku yang berhubungan dengan turbin angin.

A. Tower dan pondasi

1. periksa *tower* kincir dengan mengecek semua apakah sudah terpasang dengan kuat sehingga tiang *tower* tetap kokoh.
2. *tower* harus berdiri tegak di atas tanah.
3. cek kondisi material tiang *tower*, lakukan pengecekan besi *tower* sudah berkarat atau berjamur.
4. pastikan *tower* tidak miring harus tegak lurus dengan pondasi.
5. tekanan pondasi kira-kira 8 Mpa.

B. Kincir dan Blade

1. perhatikan kincir dan bilah jika terjadi kerusakan
2. kincir dan bilah mempunyai tegangan tinggi jadi harus di perhatikan saat pengecekan.

C. Kabel penghubung kincir angin.

1. hubungkan kabel dengan kincir angin agar bisa di deteksi kecepatan kincirnya
2. pastikan semua kabel terpasang ke kincir angin dengan rapi.
3. sambungkan kabel kincir angina hingga ke power house dengan melaspisi kabel yang di letakan di dalam tanah dengan menggunakan *clypsal* atau pipa air.

D. Controller dan Baterai

1. Sambungkan semua kabel ke baterai
2. pastikan semua sambungan kabel terpasang dengan baik.
3. cek tegangan baterai jika memenuhi standar dengan range antara 24 volt sampai 28 volt.

Pembuatan Jadwal Pemeliharaan

Jadwal pemeliharaan *wind turbine* ini dibuat dengan cara melihat kondisi dan berbagai referensi buku yang berhubungan dengan turbin angin untuk menentukan kegiatan apa saja yang dilakukan untuk melakukan perawatan *wind Turbin The Sky Dancer (TSD-500)* dan juga frekuensi kegiatan pemeliharaannya.

Tabel 1. Jadwal Pemeliharaan *Wind Turbin The Sky Dancer (TSD-500)*

JADWAL PEMELIHARAAN	
Nama Mesin	Tanggal Penyusunan
<i>Wind Turbin The Sky Dancer (TSD-500)</i>	
Deskripsi Kegiatan Pekerjaan Pemeliharaan	Frekuensi Waktu
Tower dan Pondasi	
Periksa bunyi, getaran, dan kondisi <i>tower</i>	M/M
Periksa keamanan pelat fondasi	M/3B
Periksa keamanan pondasi, pastikan pondasi kokoh	M/3B
Periksa sambungan antara <i>tower</i> dan sling	M/B
Periksa kondisi tali sling	
Lakukan pelapisan anti karat pada <i>tower</i>	M/T
Lakukan pelapisan anti karat pada kawat sling	M/T
Periksa kebersihan lingkungan <i>tower</i> dari benda abrasive, hal yang mudah terbakar dan mudah meledak	M/T
Periksa kondisi baut penghubung <i>tower</i> dari kondisi kendur atau karat	M/B
Kincir dan Blade	
Periksa kondisi <i>blade</i> dari kemungkinan korosi	M/M
Periksa baut pemghubung antara <i>blade</i> dan <i>main frame</i> turbin	M/B
Periksa kondisi <i>frame gearbox</i> dari karat	M/B
Lakukan pelapisan anti karat pada <i>blade</i>	M/3B

Kabel penghubung kincir angin	
Pemeriksaan kondisi kabel dari kemungkinan keropos	E/B
Pemeriksaan sambungan kabel dan turbin angin	E/M
Kontroller dan Baterai	
Cek keamanan pelindung	M/M
Cek kebersihan kontroler dan baterai	E/3B
Baut	
Periksa kekencangan pada tiap sambungan	M/B
Setting baut <i>leveling</i>	M/6B
Periksa kekencangan baut <i>cover</i> turbin	M/B
Umum	
Jaga kebersihan dan lingkungan instalasi turbin angin	M/M
Periksa kondisi lingkungan	M/M

keterangan pada kolom frekuensi :

M	= Ahli Mekanik
E	= Ahli Elektrik
/M	= Mingguan
/B	= Bulanan
/3B	= 3 Bulanan
/6B	= 6 Bulanan
/T	= Tahunan

IV. Kesimpulan

- Diperlukannya SOP atau instruksi kerja untuk pemasangan atau dalam proses monitoring pada *Turbin angin*. Agar sesuai dengan manual book dan tidak terjadi kerusakan kembali.
- Dalam turbin angin komponen yang paling kritis adalah baling-baling/*blade* sehingga *blade* harus tangguh dan kuat terhadap beban yang mengenainya.
- Material yang terdapat pada *blade* saat ini terlalu rendah sehingga mudah rusak.
- Diperlukan analisa yang lebih akurat untuk menyelesaikan masalah patahnya *Blade* Turbin Angin.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih banyak kepada Bapak Agung Hartansyah selaku CEO PT.Rekayasa Energi Global Dan Segenap Staff ,serta karyawan yang telah memfasilitasi penelitian serta memberikan dukungan dalam penyelesaian Makalah ini.

Daftar Pustaka

1. Soeripno MS. *Wind energy technology development and utilization, (Current status, barrier, opportunity in Indonesia)*. In: *AUN/SEEDNet/Regional Workshop on New/ Renewable Energy*, Bandung; 2009.
2. Azad, A.K. & Kaysar, M.M.. *Design of a horizontal axis wind turbine for electricity generation in low speed windy sites*. *International journal of advanced renewable energy research*, p 363-373 (2012)
3. Burton, T et al. *Wind energy handbook*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. (2001)
4. Soeripno MS, Murti N. *Blowing the Wind Energy in Indonesia*. *Conference and Exhibition Indonesia Renewable Energy & Energy Conservation [Indonesia EBTKE CONEX 2013]*
5. EMD International.. *Wind energy resources of indonesia*. Retrieved from *Wind Prospecting* (2015)

KONVERSI ENERGI

ANALISIS PERBANDINGAN *HEAT EXCHANGER* TIPE *PLATE-FRAME* DAN *SHELL AND TUBE* PADA *INTERCOOLER*

Muthia Sari Atikayanti; Sagita Firza Nur; Budi Santoso; Arifia Ekayuliana

Program Studi Teknik Konversi Energi, Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta.

Jl. Prof Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 021-7270044.

¹samuthiaa@gmail.com, ¹Sagitafirzanr@gmail.com

Abstrak

Alat Penukar Panas merupakan salah satu komponen penting di PLTP, karena berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida yang memiliki perbedaan temperatur. Studi ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja heat exchanger tipe plate-frame dan shell and tube pada intercooler di PLTP Kamojang Unit 2, dimana air pendingin utama digunakan untuk mendinginkan air pendingin kedua. Heat exchanger yang digunakan di PLTP Kamojang Unit 2 adalah alat penukar panas tipe pelat. Namun, beberapa masalah ditemukan pada heat exchangertipe pelat ini, yaitu mudahnya terjadi kebocoran pada perapat yang diakibatkan dari gasket yang mudah mengalami perubahan bentuk. Selain itu, apabila terjadi kerusakan pada pelat, pelat tersebut harus diganti dan tidak bisa diperbaiki, sedangkan material yang digunakan pada alat penukar panas ini adalah titanium yang memiliki harga relatif mahal. Dengan beberapa masalah tersebut, efektivitas alat penukar panas tipe pelat sebesar 30,7%. Pada dunia industri, umumnya menggunakan alat penukar panas tipe shell and tube karena konstruksinya relatif sederhana, selain itu apabila terjadi kebocoran pada tube hal ini masih bisa ditangani dengan cara penyumbatan atau penambalan. Maka dari itu, penelitian ini akan membahas perancangan berupa perhitungan dimensi alat penukar panas tipe shell and tube satu pass shell dan dua tube aliran berlawanan dengan metode analisis perhitungan LMTD (Log Mean Temperature Difference). Hasil perancangan alat penukar panas tipe shell and tube ini memiliki efektivitas sebesar 45,65% yang berarti alat penukar panas tipe shell and tube memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan tipe plate-frame.

Kata kunci: desain, efektivitas, alat penukar panas, intercooler.

Abstract

Heat exchanger is one of important component in geothermal power plant, because it serves to move the heat energy between two or more fluids which have a temperature differences. This research aims to analyze the comparison of plate-frame with shell and tube heat exchanger performance in intercooler at Kamojang Geothermal Power Plant Unit 2, where the primary cooling water is used to cool the secondary cooling water. The type of Heat exchanger used in Kamojang Geothermal Power Plant Unit 2 is plate heat exchanger. However, some problems are found in this plate heat exchanger type, which is the seals that easily to leak due to the shape of gaskets that easily deformed. Moreover, if there is a problem on the plate, the plate must be replaced and can not be repaired, while the material used in this heat exchanger is titanium which has a relatively high price. With some of these problems, the effectiveness of plate heat exchanger is 30,7%. In the industrial world, the use of shell and tube type heat exchanger is generally used because the construction is relatively simple, moreover if there is a leak in the tube it can be handled by plugging. Therefore, this research will discuss the design of the calculation of shell and tube one pass shell and two tube counterflow type heat exchanger by calculation analysis of LMTD (Log Mean Temperature Difference) method. The effectiveness of design of shell and tube heat exchangers is 45.65% which means that shell and tube heat exchanger has better performance than the plate-frame type.

Keyword: design, effectiveness, heat exchanger, intercooler

I. PENDAHULUAN

Indonesia kaya akan energi panas bumi atau energi *geothermal* yaitu sebuah sumber energi yang relatif ramah lingkungan karena berasal dari panas dalam bumi. Air yang dipompa ke dalam bumi oleh manusia atau sebab-sebab alami (hujan) berkumpul di permukaan bumi dalam bentuk uap, yang bisa digunakan untuk menggerakkan turbin yang diteruskan untuk menggerakkan generator, sehingga dapat memproduksi listrik[1]. Pemanfaatan energi panas bumi sebagai pembangkit listrik di Indonesia diawali

dengan berdirinya PLTP Kamojang pada tahun 1982, yang kini berkapasitas 1 x 35 MW untuk unit 1 dan 2 x 55 MW untuk unit 2 dan 3[1].

Salah satu komponen penting pada PLTP Kamojang yaitu alat penukar panas atau yang biasa disebut dengan *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan alat penukar panas yang berfungsi untuk memindahkan energi panas antara dua atau lebih fluida dan terjadi pada temperatur yang berbeda, dimana fluida tersebut ada yang bertindak sebagai fluida panas (*hot fluid*) dan yang lain bertindak sebagai fluida dingin (*cold fluid*)[2]. Biasanya *heat exchanger* digunakan pada sistem pendinginan, salah satunya yaitu pada sistem pendinginan *intercooler*.

Intercooler pada Unit 2 PLTP Kamojang menggunakan jenis *plate heat exchanger*, dimana fluida panas dan fluida dingin dialirkan secara tidak langsung (*indirect contact*). Dalam *plate heat exchanger*, pelat disusun dengan susunan tertentu, sehingga terdapat dua jalur yakni *hot side* dan *cold side*. *Hot side* dialiri fluida yang relatif lebih tinggi suhunya, sedangkan *cold side* sebaliknya. Zat cair yang digunakan sebagai pendingin bisa dari jenis yang sama maupun berbeda. Pertukaran panas terjadi dari cairan yang lebih panas ke cairan yang lebih dingin melalui pelat-pelat yang memisahkan kedua jalur. Pada *intercooler* fluida yang digunakan sama, yaitu berupa air, dimana air pendingin *primary* dialirkan untuk mendinginkan air pendingin *secondary*.

Berdasarkan survei lapangan, permasalahan yang sering terjadi pada *plate heat exchanger* pada Unit 2 PLTP Kamojang yaitu dari segi pemeliharaan, dimana sering terjadinya kebocoran pada pelat yang dikarenakan gasket pada *seal* sudah mulai rusak akibat dari *life time* dan kinerja dari *intercooler* pun sudah mulai berkurang yang dikarenakan jumlah pelat sudah banyak yang dikurangi akibat dari kerusakan tersebut. Selain itu, proses pemasangan pelat-pelat *heat exchanger* harus memperhatikan besarnya torsi yang nantinya akan mempengaruhi bentuk dari pelat itu sendiri, hal ini juga menjadi salah satu penyebab terjadinya kebocoran pada pelat yang mengakibatkan efektivitas *intercooler* menurun.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka tujuan penelitian ini adalah untuk melakukan perancangan berupa perhitungan dimensi *heat exchanger* tipe *shell and tube* satu *pass shell* dan satu *pass tube* aliran berlawanan. Dimana, *shell and tube* merupakan *heat exchanger* yang sering digunakan di dunia industri khususnya pembangkit listrik. *Shell and tube* juga memiliki banyak keunggulan, diantaranya pemilihan bahan atau material yang dapat divariasikan, perawatan yang relatif lebih mudah seperti mudah dibersihkan dan dibongkar pasang, *thermal stress* dapat ditekan, konstruksi sederhana dan kokoh, tidak membutuhkan tempat yang luas dan biaya yang digunakan relatif lebih murah dibandingkan dengan *heat exchanger* jenis lain[3]. Dengan hasil perancangan tersebut, maka akan diketahui perbandingan tipe *heat exchanger* yang memiliki kinerja dan keunggulan yang lebih baik pada PLTP Kamojang.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi lima tahapan yaitu studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan kesimpulan. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan lebih rinci sebagai berikut:

A. Studi literatur

Studi literatur merupakan tahapan untuk mencari literatur-literatur atau tinjauan pustaka seperti, membaca, mempelajari dan memahami pembahasan mengenai penelitian melalui media yang bersumber dari buku-buku, jurnal, serta dokumen perusahaan. Tujuan dari tahap ini adalah membantu proses penulisan Tugas Akhir terutama dalam proses pengolahan data seperti, perhitungan efektivitas perpindahan panas dan perancangan alat penukar kalor atau *heat exchanger*.

B. Pengumpulan data *Intercooler*

Pengumpulan data *Intercooler* dilakukan dengan cara pengambilan data yang diambil langsung dari *Central Control Room (CCR)* di PLTP Kamojang, yaitu mengambil sampel data operasional pada tanggal 9 Maret 2018 pukul 00.00 WIB. Data yang dikumpulkan yaitu berupa data komisioning dan juga data parameter aktual harian *intercooler* berupa, temperatur air pendingin masuk dan keluar, temperatur air panas masuk dan keluar, serta volume air pendingin dan air panas pada *intercooler*.

C. Pengolahan data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data menggunakan *Microsoft Excell* dengan cara menghitung efektivitas perpindahan panas pada *intercooler* jenis *plate-frame*. Selanjutnya dilakukan

perhitungan perancangan desain *heat exchanger* tipe *shell and tube* dengan mengacu pada data-data parameter *intercooler* tipe *plate-frame* di PLTP Kamojang.

D. Analisis

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan *heat exchanger* yang memiliki keunggulan lebih baik antara *heat exchanger* tipe *plate-frame* dengan tipe *shell and tube* untuk *intercooler* pada Unit 2 di PLTP Kamojang.

E. Kesimpulan

Hasil analisis yang telah dilakukan dapat diambil suatu kesimpulan untuk menjawab tujuan dari hasil penelitian.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil Perhitungan

1) Hasil Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas *Plate-Frame Heat Exchanger* pada *Intercooler*

Tabel 3.1 Data Penunjang untuk Perhitungan Efektivitas *Intercooler*

Jam	Suhu Primary [°C]		Suhu Secondary [°C]		\dot{m}_c [kg/s]	\dot{m}_h [kg/s]	A [m ²]	c_p [kJ/kg °C]	Cmin [kW/ °C]
	T _{1, in}	T _{2, out}	t _{1, in}	t _{2, out}					
00:00	32,5	33,5	39	37	2,32	2,33	88	4,179	9,7

Tabel 3.2 Data hasil Perhitungan Laju Perpindahan Panas dan Efektivitas *Intercooler*

Jam	Suhu Primary [°C]		Suhu Secondary [°C]		Qact [kW]	Qmaks [kW]	ϵ
	T _{1in}	T _{2out}	t _{1in}	t _{2out}			
00:00	32,5	33,5	39	37	19,4	63,1	0,307

2) Hasil Perhitungan Perancangan dan Efektivitas Perpindahan Panas *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* pada *Intercooler*

Tabel 3.3 Hasil Perhitungan Perancangan *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* pada *Intercooler*

No.	Parameter	Nilai	Satuan
1.	Luas perpindahan panas	5,33	m ²
2.	Perubahan suhu logaritmik (ΔT_{lm})	5,1	°C
3.	Konduktivitas termal SUS 304	16,3	W/(m ² .°C)
4.	Koefisien perpindahan panas keseluruhan (Ud)	1703,46	W/(m ² .°C)
5.	Pressure drop pada sisi <i>tube</i>	0,00281	Bar
6.	Pressure drop pada sisi	0,1714	Bar

<i>shell</i>			
Dimensi Alat Penukar Panas			
1.	Panjang	1,83	M
2.	Shell diameter	0,405	M
3.	Bundle diameter	0,205	M
4.	Tube outside diameter	0,01905	M
5.	Tube inside diameter	0,01483	M
6.	Flow area per tube	0,00017	m ²

B) Pengolahan Data

1) Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas *Plate-Frame Heat Exchanger* pada *Intercooler*

- a. Laju Perpindahan Panas

$$\begin{aligned}\dot{Q}_h &= \dot{Q}_c \\ \dot{Q}_h &= \dot{m}_h \cdot c_{p,h} \cdot (T_{h,o} - T_{h,i}) \\ &= 2,32 \cdot 4179 \cdot (39 - 37) \\ &= 19406,78723 \text{ Watt} \\ &= 19,40678723 \text{ kW}\end{aligned}$$

- b. Beda Temperatur Rata-rata Logaritma (LMTD)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

dimana,

$$\begin{aligned}\Delta T_1 &= (T_{h1} - T_{c1}) \\ &= (39 - 33,5) \\ &= 5,5 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta T_2 &= (T_{h2} - T_{c1}) \\ &= (37 - 32,5) \\ &= 4,5 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

sehingga,

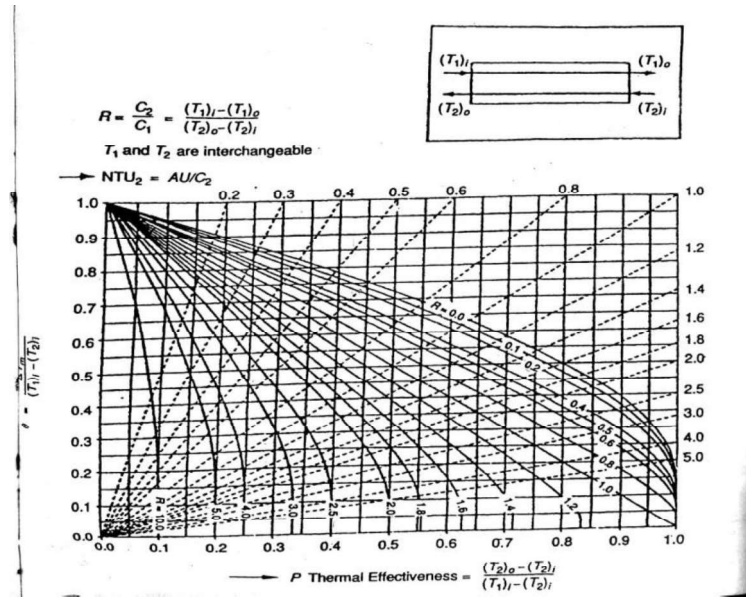
$$\begin{aligned}\Delta T_{lm} &= \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \\ &= \frac{5,5 - 4,5}{\ln\left(\frac{5,5}{4,5}\right)} \\ &= 4,98 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

Faktor koreksi untuk *plate-frame heat exchanger* aliran berlawanan:

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} = \frac{(32,5 - 33,5)}{(37 - 39)} = 0,5$$

$$P = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} = \frac{(37 - 39)}{(32,5 - 39)} = 0,31$$

Jadi, $F = 0,72$



Gambar 3.1 grafik nilai faktor koreksi LMTD *Plate-frame* aliran berlawanan[3]

c. Koefisien Konveksi

$$\begin{aligned} Pr &= \frac{\eta \cdot Cp}{k} & Re &= \frac{u \cdot \rho \cdot Ds}{\eta} \\ &= \frac{0,000653 \cdot 4179}{0,31} & &= \frac{0,0777 \cdot 992,63 \cdot 0,09}{0,000653} \\ &= 8,80286129 & &= 10630,21318 \\ Nu &= 0,664 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33} \\ &= 0,664 \cdot (10630,21318)^{0,5} \cdot (8,80286129)^{0,33} \\ &= 140,3346577 \\ \alpha_i &= Nu \cdot \frac{\lambda}{Ds} \\ &= 140,3346577 \cdot \frac{0,31}{0,09} = 483,37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C} \end{aligned}$$

d. Laju Kapasitas Panas (C)

a) Untuk perhitungan fluida dingin:

$$\begin{aligned} C_c &= \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \\ &= 2,33 \cdot 4178 \\ &= 9723,500936 \text{ W/°C} \end{aligned}$$

b) Untuk perhitungan fluida panas di sisi shell:

$$\begin{aligned} C_h &= \dot{m}_h \cdot C_{p,h} (19) \\ &= 2,32 \cdot 4179 \\ &= 9703,393614 \text{ W/°C} \end{aligned}$$

Dari laju kapasitas panas yang didapat, $C_c > C_h$ maka $C_{maks} = C_c$ dan $C_{min} = C_h$.

e. Laju Perpindahan Panas Maksimum (Q_{maks})

$$\begin{aligned} Q_{maks} &= C_{min} \cdot (T_{h,i} - T_{c,i}) \\ &= 9703,393614 (39 - 32,5) \\ &= 63072,05849 \text{ Watt} \\ &= 63,1 \text{ kW} \end{aligned}$$

f. Efektivitas *Heat Exchanger Tipe Plate-Frame* pada *Intercooler*

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \frac{Q_{act}}{Q_{maks}} \times 100\% \\ &= \frac{19406,78723}{63072,05849} \times 100\% \\ &= 30,7\% \end{aligned}$$

g. Number Transfer Unit

$$\begin{aligned} NTU &= \frac{U \cdot A}{C_{min}} \\ &= \frac{254,87 \cdot 88}{9703,393614} \\ &= 2,3 \end{aligned}$$

2) Perhitungan Perancangan *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube* pada *Intercooler*

1. Spesifikasi Awal

- a. Properti fluida yang bekerja pada Heat Exchanger

Tabel 3.4 Properti fluida yang bekerja pada Heat Exchanger

Fluid	Cold side	Hot Side
Mass flow	2,325 kg/s	2,321 kg/s
Temp. Int	33°C	42,2 °C
Temp. Out	37°C	38°C
Temp. Rata	35°C	40°C
Design Temp.	100°C	100°C
Density	994,08 (kg/m ³)	992,25 (kg/m ³)
Specific Heat	4178 (J/kg.C)	4179 (J/kg.C)
Viskositas Dinamik	0,72x10 ⁻³ (Ns/m ²)	0,653x10 ⁻³ (Ns/m ²)
Bilangan Prandtl	4.8285	8,8029
Konduktivitas Thermal	0,623 (W/m.K)	0,31 (W/m.K)

- b. Penempatan fluida

Air yang ingin didinginkan memiliki laju aliran massa lebih rendah sehingga di *hot water* diletakkan didalam *tube* dan *cold water* diletakkan di *shell*.

- c. Jenis *Shell* dan *Head*

Spesifikasi *Heat Exchanger* yang dirancang dan dianalisa untuk menurunkan suhu *air secondary* dengan Standar TEMA yang dipilih adalah A E P, *One Pass Shell Two Pass Tube* dan klasifikasi *type R* (penggunaan *heat exchanger* pada dunia industri berat).

- d. *Tubing*

Berdasarkan tabel BWG, digunakan spesifikasi *tube* berupa OD $\frac{3}{4}$ in, BWG 14, *wall thickness* 0,083 in, ID 0,584 in, *flow area per tube* 0,268 in² dengan panjang 6 ft.

2. Perhitungan Perancangan *Heat exchanger Shell and Tube*

- a. Laju Perpindahan Panas

$$\begin{aligned} \dot{Q}_h &= \dot{Q}_c \\ \dot{Q}_c &= \dot{m}_c \cdot c_{p,c} \cdot (T_{c,o} - T_{c,i}) \\ &= 2,321 \text{ kg/s} \cdot 4179 \text{ J/kg}^\circ\text{C} \cdot (42,2 - 38)^\circ\text{C} \\ &= 40737,728 \text{ watt} \\ &= 40,738 \text{ kw} \end{aligned}$$

- b. Beda Temperatur Rata-rata Logaritma (LMTD)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

dimana,

$$\begin{aligned} \Delta T_1 &= (T_{h1} - T_{c2}) & \Delta T_2 &= (T_{h2} - T_{c1}) \\ &= (42,2 - 37) & &= (38 - 33) \\ &= 5,2^\circ\text{C} & &= 5^\circ\text{C} \end{aligned}$$

sehingga,

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = \frac{5,2 - 5}{\ln\left(\frac{5,2}{5}\right)}$$

$$\Delta T_{lm} = 5,1^\circ\text{C}$$

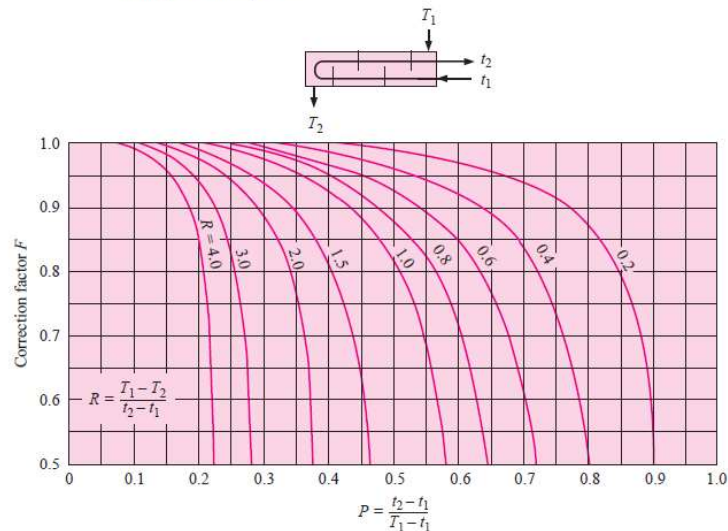
Faktor koreksi untuk satu pass shell dan dua pass tube

$$R = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{co} - T_{ci}} = \frac{42,2 - 38}{37 - 33} = \frac{4,2}{4} = 1,05$$

$$P = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} = \frac{37 - 33}{42,2 - 33} = \frac{4}{9,2} = 0,43$$

Jadi $F_t = 0,88$

Figure 10-8 | Correction-factor plot for exchanger with one shell pass and two, four, or any multiple of tube passes.



Gambar 3.2 grafik nilai faktor koreksi LMTD Shell and Tube aliran berlawanan[4]

c. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Desain (Ud)

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh desain dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$U_d = \frac{Q}{A \cdot F \cdot LMTD}$$

Asumsi Nilai U_d dari tabel 8 Kern *Water – Water* adalah $300 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} = 1703,46 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$A = \frac{Q}{U_d \cdot F \cdot LMTD} = \frac{40737,73 \text{ w}}{1703,46 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 0,88 \cdot 5,1 \text{ } ^\circ\text{C}} = 5,33 \text{ m}^2$$

d. Perhitungan Sisi Tube

a) Menentukan jumlah tube

Spesifikasi tube yang digunakan

OD : $3/4 \text{ inch} = 0,01905 \text{ m}$

ID : $0,584 \text{ inch} = 0,01483 \text{ m}$

BWG : 14, thickness = $0,002108 \text{ m}$

Flow area/tube (a^t): $0,268 \text{ inch}^2 = 0,000173 \text{ m}^2$

Panjang tube (L) : $6 \text{ ft} = 1,8288 \text{ m}$

$$\text{Jumlah tube (Nt)} = \frac{A}{L \cdot \pi \cdot d_o \cdot t}$$

$$N_t = \frac{5,33 \text{ m}^2}{1,8288 \text{ m} \cdot 3,14 \cdot 0,01905 \text{ m}} = 48,68 \approx 49$$

b) Luas Permukaan Perpindahan Kalor Total (at)

$$a_t = N_t \frac{a^t}{n} = 49 \cdot \frac{0,00017 \text{ m}^2}{2}$$

$$= 0,004165 \text{ m}^2$$

- c) Kecepatan Aliran Massa Air di tube (Gt)

$$Gt = \frac{\dot{m} \cdot h}{a \cdot t} = \frac{2,321 \text{ kg/s}}{0,004165 \text{ m}^2} = 557,26 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

- d) Bilangan Reynold (Re.t)

$$Re,c = \frac{\text{dit. } Gt}{\mu} = \frac{0,01483 \text{ m} \cdot 557,26 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}{0,653 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms}} = 12655,57$$

Jadi, jenis aliran yang terjadi di dalam tube adalah aliran turbulen karena $Re,c > 2300$.

- e) Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi (hi)

Koefisien perpindahan kalor konveksi (hi) dapat dicari dari persamaan Nusselt (Nu) sebagai berikut :

$$Nu = \frac{\text{dit. } h}{k} = 0,023 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,33} = 0,023 \cdot (12655,57)^{0,6} \cdot (8,8029)^{0,33} = 13,64$$

sehingga,

$$hi = \frac{Nu \cdot k}{d_i} = \frac{13,64 \cdot 0,31 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,01483 \text{ m}} = 285,13 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

- e. Perhitungan sisi *Shell*

- a) Menghitung Diameter Shell

Spesifikasi parameter yang digunakan dalam perhitungan diameter *shell*:

Susunan *tube* = *Triangular*

Triangular pitch $Pt = 1,25 \cdot d_o = 1,25 \cdot 0,019 = 0,023 \text{ m}$

$C' = 0,25 \cdot d_o = 0,25 \cdot 0,019 = 0,00475 \text{ m}$

Persamaan untuk menghitung diameter *shell*

$D_s = D_b + C1$

dimana, D_b = diameter bundel,

$$D_b = d_o \left(\frac{N_t}{k_1} \right)^{\frac{1}{n_1}} = 0,019 \left(\frac{49}{0,249} \right)^{\frac{1}{2,207}} = 0,019 \cdot (196,787)^{0,45} = 0,205 \text{ m}$$

$D_s = 317 + C1$

Nilai $C1$ untuk *pull through floating head* = 88 mm

Maka, $D_s = 317 + 88 = 405 \text{ mm} = 0,405 \text{ m}$

Baffle spacing (B) = 0,45 d_i ,
= 0,45 \cdot 0,405 m = 0,18225 m

- b) Luas Permukaan Perpindahan Kalor Total (as)

$$as = \frac{d_i \cdot s \cdot C' \cdot B}{Pt} = \frac{0,405 \text{ m} \cdot 0,00475 \text{ m} \cdot 0,18225 \text{ m}}{0,023} = 0,015 \text{ m}^2$$

- c) Kecepatan Aliran Massa Air di *shell* (Gs)

$$G_s = \frac{m \cdot c}{a \cdot s} = \frac{2,325 \text{ kg/s}}{0,015 \text{ m}^2} = 155 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

d) Bilangan Reynold (Re_s)

$$Re_s = \frac{d_e \cdot G_s}{\mu}, \text{ dimana } d_e = \text{diameter hidrolis}$$

$$D_e = \frac{4 \left(\frac{1}{2} \cdot P_t \cdot 0,86 P_t - \frac{1}{2} \cdot \pi d_o \cdot t \right)}{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d_o \cdot t}$$

$$D_e = \frac{4 \left(\frac{1}{2} \cdot P_t \cdot 0,86 P_t - \frac{1}{2} \cdot \pi d_o \cdot t \right)}{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot d_o \cdot t} = 0,01136 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } Re_s = \frac{0,01136 \text{ m} \cdot 155 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}}{0,72 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms}} = 2445,56$$

Jadi, jenis aliran yang terjadi di dalam *shell* adalah aliran *turbulen* karena $Re_s > 2300$.

f. Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi (h_o)

Koefisien perpindahan kalor konveksi (h_o) dapat dicari dari persamaan Nusselt (Nu) sebagai berikut :

$$Nu = \frac{h \cdot d_e}{k}$$

$$Nu = 0,027 Re_s^{0,8} Pr_s^{0,4}$$

$$Nu = (0,027) (2445,56)^{0,8} (4,8285)^{0,4} = 26,04$$

sehingga,

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{d_e} = \frac{26,04 \cdot 0,623 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,01136 \text{ m}} = 1428,07 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

g. Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh Bersih (U_c)

Nilai k adalah *Thermal conductivity* SUS 304 Tube = 16,3 W/m °C

$$U_c = \frac{1}{\frac{\ln \frac{r_o}{r_i}}{2\pi L k} + \frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_i}}$$

$$U_c = \frac{1}{\frac{\ln \frac{0,009525}{0,007415}}{2\pi \cdot 1,8288 \cdot 16,3} + \frac{1}{1428,07} + \frac{1}{285,18}}$$

$$= 180,36 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

h. Penurunan tekanan (ΔP)

a) Sisi *Tube*

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{2 \cdot g \cdot d_i \cdot t \cdot \rho \cdot \emptyset}$$

$$\text{Nilai } f_{\text{tube}} = (1,58 \cdot \ln(Re_t) - 3,28)^{-2}$$

$$f_{\text{tube}} = (1,58 \cdot \ln(12655,57) - 3,28)^{-2} = 0,00738$$

$$\text{maka, } \Delta P_t = \frac{0,00738 \cdot (557,26 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s})^2 \cdot 1,8288 \text{ m} \cdot 2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,01483 \text{ m} \cdot 992,63 \text{ kg/m}^3 \cdot 1} = 28,7 \text{ kg/m}^2$$

b) Sisi *Shell*

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \left\{ \left(\frac{L}{b} - 1 \right) + 1 \right\} \cdot D_s}{2 \cdot \rho \cdot D_e \cdot \emptyset^{0,14}}$$

$$\text{Nilai } f_{\text{shell}} = \exp\{0,576 - 0,19 \ln(Re)\}$$

$$f_{\text{shell}} = \exp\{0,576 - 0,19 \ln(2445,56)\} = 0,404$$

maka,

$$\Delta P_s = \frac{0,404 \cdot 155^2 \left\{ \left(\frac{1,8288}{0,182} - 1 \right) + 1 \right\} \cdot 0,405}{2 \cdot 994,08 \cdot 0,01136 \cdot 1^{0,14}} = 1748,9 \text{ kg/m}^2$$

- i. Laju Kapasitas Kalor (C)
- a) Untuk perhitungan fluida panas di *tube*:
- $$C_h = m_h \cdot C_{p,h}$$
- $$= 2,321 \text{ kg/s} \cdot 4179 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$
- $$= 9699,46 \text{ W/}^\circ\text{C}$$
- b) Untuk perhitungan fluida dingin di *shell*:
- $$C_c = m_c \cdot C_{p,c}$$
- $$= 2,325 \text{ kg/s} \cdot 4178 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$
- $$= 9713,85 \text{ W/}^\circ\text{C}$$
- Dari laju kapasitas kalor yang didapat, $C_c > C_h$ maka $C_{maks} = C_c$ dan $C_{min} = C_h$. Laju Perpindahan Kalor Maksimum (Q_{maks})
- $$Q_{maks} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})$$
- $$= 9699,46 \text{ W/}^\circ\text{C} \cdot (42,2 - 33)^\circ\text{C}$$
- $$= 89230,8 \text{ Watt} = 89,23 \text{ kW}$$
- j. Efektivitas *Heat Exchanger Tipe Shell and Tube* pada *Intercooler*
- $$\varepsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{maks}} \times 100\%$$
- $$\varepsilon = \frac{40737,7278}{89230,8} \times 100\%$$
- $$= 45,65 \%$$
- k. *Number of Transfer Unit* (NTU)
- $$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}}$$
- $$NTU = \frac{1703,46 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot 5,33 \text{ m}^2}{9699,46 \text{ W/}^\circ\text{C}}$$
- $$= 0,936$$

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa hasil perancangan *heat exchanger* tipe *shell and tube* satu *pass shell* dan dua *tube* aliran berlawanan dengan spesifikasi panjang 1,83m, *shell diameter* 0,405m, *bundle diameter* 0,205m, *tube outside diameter* 0,01905m, *tube inside diameter* 0,01483, *flow area per tube* 0,00017m memiliki efektivitas yang lebih besar yaitu 45,65% dibandingkan dengan *heat exchanger* tipe plat yang memiliki efektivitas 30,7%. *Heat exchanger* yang dirancang ini sudah memenuhi standar *pressure drop* yang diperlukan dan standar-standar spesifikasi perancangan *heat exchanger shell and tube*. Maka dapat disimpulkan desain *heat exchanger* kami layak dipakai.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada Bapak Budi Santoso dan Ibu Arifia Ekayuliana selaku dosen pembimbing serta seluruh dosen Teknik Konversi Energi lainnya dan juga seluruh rekan 6E yang ikut serta membantu dalam penyelesaian makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/energi-panas-bumi/item268?> (akses 18 Mei 2018 : 10.00)
- [2] Kern, D. Q, *Process Heat Transfer*, Mc Graw-Hi. Book Company, New York, 1965
- [3] Hewitt, G. F; Shires, G.L; Bott, T. R., *Process Heat Transfer*, Begell House Inc, New York, 1994.
- [4] Holman, J. P, *Heat Transfer Tenth Edition*, McGraw-Hill Series in Mechanical Engineering, New York, 2010.

ANALISIS DISTRIBUSI PANAS PADA ALAT PENGERING BRIKET ARANG MENGGUNAKAN CFD

I Gede Eka Lesmana¹, Ade Erwin Alansyah²

^{1,2}Dept. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila
Jalan Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan
HP: 081388208275, E-mail: gdlesmana@univpancasila.ac.id

Abstrak

Pengeringan merupakan suatu proses perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur yang signifikan antara kedua permukaan. Komponen aliran udara saat proses pengeringan meliputi kecepatan, temperatur, tekanan, dan kelembaban. Akan tetapi pada kondisi aslinya, banyak ditemukan beberapa masalah, salah satunya adalah tidak meratanya distribusi panas pada alat pengering yang digunakan.

Pada saat melakukan penelitian memiliki beberapa tujuan, yaitu melakukan penelitian distribusi panas yang optimum dalam ruang pengering briket arang sebagai alternatif pengeringan dan melakukan pengujian menggunakan CFD untuk menganalisis distribusi panas dalam ruang pengering.

Alat pengering briket arang sistem Tray Drying (pengering rak bertingkat) terdapat 7 rak yang disusun bertingkat untuk meletakkan briket arang basah. Menentukan sistem pengeringan dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu udara dalam ruang pengering berdasarkan Inlet dan outlet udara yang bervariasi sebagai perbandingan untuk mendapatkan distribusi panas yang optimum 60 °C dalam ruang pengering. Sumber panas pengeringan berasal dari pemanas listrik yang didorong udara blower masuk ke ruang pengering dengan bantuan pipa fleksibel. Udara panas ini terus mengalir untuk meningkatkan suhu udara di ruang pengering melalui proses heat transfer.

Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada varian 1 dan 2. Hal tersebut dapat dilihat bahwa hasil simulasi dari berbagai temperatur inlet yang paling mendekati nilai optimum dalam ruang pengering pada varian 1. Hal ini disebabkan karena temperatur suatu molekul berbanding terbalik dengan massa jenisnya. Semakin besar temperatur suatu molekul, maka massa jenisnya akan semakin kecil. Oleh karena itu, diperlukan lubang outlet pada bagian atas.

Hasil yang mendekati nilai optimum yaitu pada varian 1. Hasil rata-rata temperatur rak dengan nilai maksimum 56.43 °C dengan temperatur inlet 100 °C. Desain varian 1 adalah desain yang paling baik dibandingkan varian 2, karena nilai temperatur rak-1 s.d 5 mendekati hasil optimum. Terdapat temperatur berlebih pada rak-6 s.d 7 namun tidak terlalu jauh yaitu 61.19 °C dan 62.48 °C.

Kata Kunci: Distribusi Panas, Alat Pengering, CFD

Abstract

Drying of heat transfer is a process that occurs due to a significant difference in temperature between the two surfaces. The components of the air flow when the drying process include speed, temperature, pressure, and humidity. However, in its original condition, found several problems, one of which is the uneven distribution of heat on the dryers are used. At the time of the study has several objectives, namely do research the optimum heat distribution in space as an alternative to charcoal briquette dryers drying and conduct testing using CFD to analyze the distribution of heat in the space of dryer.

Charcoal briquette dryers System Tray Drying (drying racks-floor) there are 7 storey arranged shelves for putting wet charcoal briquettes. Determining the drying system is performed to find out the distribution of air temperature in the dryer Inlet and outlet air based on the varied in comparison to get the optimum heat distribution is 60 °C in the dryer. Drying heat sources comes from electric heater air blower driven into the dryer with the help of the flexible pipe. Hot air continues to flow to increase the temperature of the air in the dryer through the process of heat transfer.

The test is performed three times on variants 1 and 2. It can be seen that the results of the simulation of various temperature inlet the most optimum value in approaching spaces dryer in Variant 1. This is because the temperature of a molecule is inversely proportional to its mass. The greater the temperature of a molecule, then the density will be getting smaller. Therefore, the required outlet hole at the top.

Optimum value approach results in Variant 1. The results of the average temperature of the rack with a maximum value of 56.43 °C inlet temperature 100 °C. Design Variant 1 is the most excellent design than the Variant 2, because the value of the temperature of the rack 1 to 5 approaching the optimum results. There is excess temperature in the rack 6 to 7 but not too far, namely 61.19 to 62.48 °C.

Keywords: Heat Distribution, Dryers, CFD

1. PENDAHULUAN

3.1 Latar Belakang

Pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat menyebabkan permintaan energi semakin meningkat pula. Sektor energi memiliki peran penting dalam rangka mendukung kelangsungan proses pembangunan nasional [1]. Energi sebagian besar digunakan pada sektor rumah tangga, industri dan transportasi, sedangkan cadangan bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara yang selama ini merupakan sumber utama energi jumlahnya semakin menipis [2]. Hal ini menyebabkan timbulnya kekhawatiran akan terjadinya kelangkaan bahan bakar di masa yang akan datang. Dengan demikian perlu diupayakan sumber energi alternatif lain yang berasal dari bahan baku yang bersifat kontinyu dan dapat diperbaharui seperti energi biomassa.

Sampah yang dihasilkan di kota-kota besar seperti di Medan, Bandung, Semarang, Surabaya dan Jakarta bervariasi antara 0,458 - 3,5 kg limbah/orang /hari. Jenis sampah dapat dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu sampah anorganik dan organik. Sampah organik antara lain sampah dapur, ranting-ranting pohon, daun, kayu, bambu, sabut kelapa dan tempurung kelapa belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu upaya dalam rangka penyediaan energi alternatif sekaligus menjadi alternatif penanggulangan sampah perkotaan adalah dengan memanfaatkan limbah organik perkotaan tersebut sebagai bahan baku pembuatan briket arang [3].

Briket adalah bahan bakar alternatif (energi terbarukan) pengganti batu bara yang menyerupai arang tetapi terbuat dari bahan non-kayu. Bahan yang digunakan untuk pembuatan briket arang antara lain adalah serbuk gergajian kayu dan tempurung kelapa. Serbuk gergajian kayu dan tempurung kelapa secara terpisah dibuat arang dengan menggunakan klik drum modifikasi selama 5-7 jam. Arang serbuk gergaji yang dihasilkan disaring pada ukuran lolos 50 *mesh*. Arang hasil penyaringan kemudian dibuat briket pada beberapa komposisi bahan baku setelah terlebih dahulu dicampur dengan perekat kanji sebanyak 2,5% dari berat sabuk arang. Komposisi campuran yang dibuat kemudian dikempa dingin pada tekanan 50 ton untuk 16 lubang atau cetakan briket. Briket hasil cetakan dikeringkan dalam oven pada suhu 60°C selama \pm 24 jam. Kemudian briket di uji sifat fisis dan kimianya. Sifat fisis yang diuji meliputi kerapatan dan kekuatan tekan, sedangkan sifat kimia terdiri dari kadar air, kadar zat mudah menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, dan nilai kalor [5].

Metode yang digunakan untuk mengurangi kadar air pada briket adalah pengeringan. Pengeringan merupakan suatu proses perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur yang signifikan antara kedua permukaan, sehingga kadar air pada briket berkurang. Aliran udara panas yang digunakan sebagai fluida kerja bagi sistem pengeringan ini. Komponen aliran udara saat proses pengeringan meliputi kecepatan, temperatur, tekanan, dan kelembaban [4].

Alat pengering pada umumnya menggunakan panas sebagai fluida kerja untuk pengeringan. Hal ini karena dengan mudahnya mendapatkan sumber panas. Akan tetapi pada kondisi aslinya, banyak ditemukan beberapa masalah, salah satunya adalah tidak meratanya distribusi panas pada alat pengering yang digunakan [4]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan kajian untuk analisis distribusi panas pada alat pengering briket arang yang ada di Laboratorium Mesin Universitas Pancasila menggunakan *software CFD (Computational Fluid Dynamics)*.

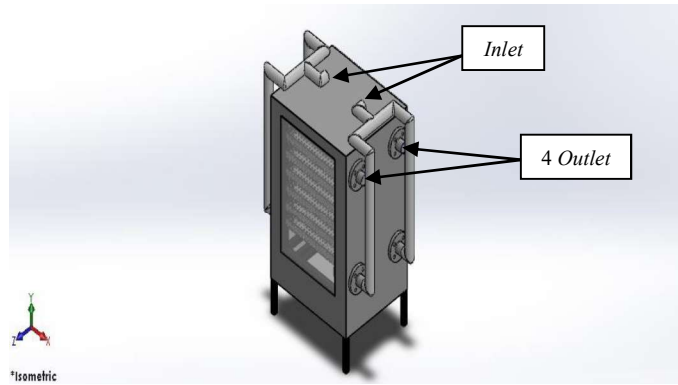
1.2 Tujuan

Pada saat melakukan penelitian memiliki beberapa tujuan, sebagai berikut:

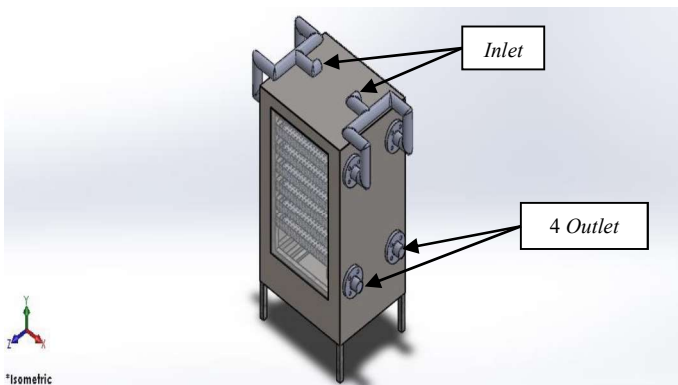
- Melakukan penelitian distribusi panas yang optimum dalam ruang pengering briket arang sebagai alternatif pengeringan.
- Melakukan pengujian menggunakan *CFD* untuk menganalisis distribusi panas dalam ruang pengering.

2. METODE PENELITIAN

Alat pengering briket arang sistem *Tray Drying* (pengering rak bertingkat) terdapat 7 rak yang disusun bertingkat untuk meletakkan briket arang basah. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu menentukan sistem pengeringan, pengambilan data, simulasi *CFD*, dan analisis data. Menentukan sistem pengeringan dilakukan untuk mengetahui distribusi suhu udara dalam ruang pengering berdasarkan *Inlet* dan *outlet* udara yang bervariasi sebagai perbandingan untuk mendapatkan distribusi panas yang optimum 60 °C dalam ruang pengering.



Gambar.1 Alat Pengering Briket Arang Varian 1



Gambar.2 Alat Pengering Briket Arang Varian 2

Sumber panas pengeringan berasal dari pemanas listrik yang didorong udara *blower* masuk ke ruang pengering dengan bantuan pipa fleksibel. Udara panas ini terus mengalir untuk meningkatkan suhu udara di ruang pengering melalui proses *heat transfer*. Sedangkan uap air yang berasal dari briket arang karena proses pemanasan, mengalir keluar melalui lubang *outlet* secara alami.

Konduksi adalah perpindahan kalor yang terjadi antara partikel yang saling bersentuhan, tetapi tidak bergerak atau statis. Bentuk umum Persamaan.1 konduksi, menghitung laju perpindahan kalor (*Fourier Law of Heat Conduction* [6]):

$$q_k = \frac{A(T_p - T_d)h_k}{\Delta x} = \frac{\Delta T}{\Delta x / (h_k \cdot A)} = \frac{\text{thermal potential}}{\text{thermal resistance}} \quad [\text{Persamaan.1}]$$

Dimana:

- q_k = Laju perpindahan panas konduksi [W] atau [J/s]
- h_k = Koefisien konduksi [W/m.K]
- A = Luas penampang tegak lurus arah perpindahan panas [m²]
- T_p = Temperatur yang lebih panas [K]
- T_d = Temperatur yang lebih dingin [K]
- Δx = Panjang atau jarak antara ($T_p - T_d$) [m]

Konveksi adalah perpindahan kalor yang terjadi antara partikel-partikel yang bergerak relatif satu terhadap yang lain dan saling bersentuhan, seperti pada aliran fluida. Laju perpindahan kalor dihubungkan dengan beda suhu menyeluruh antara dinding, fluida, dan luas permukaan. Besar h_c disebut koefisien perpindahan kalor konveksi (*convection heat transfer coefficient*). Persamaan.2 yang digunakan adalah [6]:

$$q_c = h_c \cdot A(T_p - T_h) \quad [\text{Persamaan.2}]$$

Dimana:

- q_c = Laju perpindahan panas konveksi [W] atau [J/s]
- h_c = Koefisien konveksi [W/m².K]
- A = Luas permukaan perpindahan panas [m²]
- T_p = Temperatur permukaan padat [K]

T_h = Temperatur aliran bebas (*free stream*) [K]

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Setelah Pengujian (Varian 1)

Pengujian pada varian 1 dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan temperatur yang optimum 60 °C dalam ruang pengering. Berikut hasil pengujian tersebut:

a. Pengujian Dengan Temperatur *Inlet* 60 °C

Setelah dilakukan pengujian dengan temperatur *Inlet* 60 °C, kondisi ruang pengering briket arang sebagai berikut:

Tabel. 1 Nilai Maksimum, minimum, dan rata-rata dari Rak

Rak	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
1	36.57	40.81	39.21
2	37.01	41.19	39.78
3	37.21	41.7	40.32
4	37.89	42.45	40.88
5	39.07	42.55	41.09
6	39.32	43.19	41.04
7	39.59	43.51	41.29

Tabel. 2 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Dinding

Dinding	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
Atas (SS)	27.37	34.28	28.18
Bawah (SS)	27.12	28.03	27.27
Samping Kiri (SS)	27.28	29.8	27.75
Samping Kanan (SS)	27.18	29.79	27.73
Depan (SS)	27.26	28.99	27.65
Depan (Acrylic)	27.27	32.61	28.32
Belakang (Acrylic)	27.12	32.45	28.06

Tabel. 3 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Temperatur *Outlet*

Temperatur <i>Outlet</i> [°C]		
Min	Max	Av
32.28	40.07	37.81

b. Pengujian Dengan Temperatur *Inlet* 80 °C

Setelah dilakukan pengujian dengan temperatur 80 °C, kondisi ruang pengering briket arang sebagai berikut:

Tabel. 4 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Rak

Rak	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
1	43.13	49.01	46.67
2	45.9	49.76	48.24
3	46.16	50.17	48.16
4	44.12	50.26	48.15
5	43.72	51.23	48.43
6	45.4	52.28	48.78
7	46.58	53.04	49.41

Tabel. 5 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Dinding

Dinding	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
Atas (SS)	27.77	38.69	29.04
Bawah (SS)	27.08	27.88	27.22
Samping Kiri (SS)	27.34	31.43	28.18
Samping Kanan (SS)	27.2	31.31	28.22
Depan (SS)	27.22	29.8	27.92
Depan (Acrylic)	27.41	35.53	29.12
Belakang (Acrylic)	27.13	35.21	28.62

Tabel. 6 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Temperatur Outlet

Temperatur Outlet [°C]		
Min	Max	Av
28.62	46.95	43.89

c. Pengujian Dengan Temperatur *Inlet* 100 °C

Setelah dilakukan pengujian dengan temperatur 100 °C, kondisi ruang pengering briket arang sebagai berikut:

Tabel. 7 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Rak

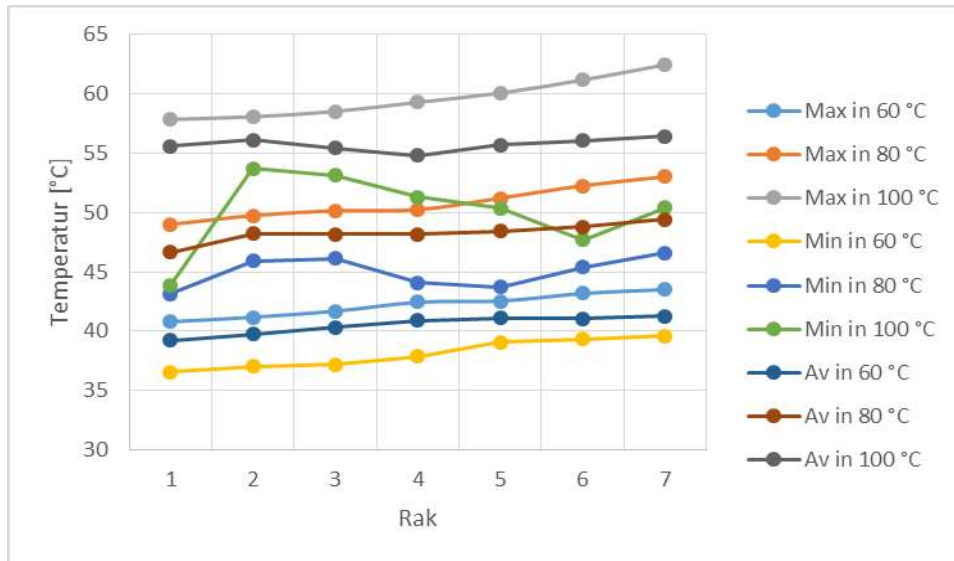
Rak	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
1	43.89	57.86	55.59
2	53.74	58.09	56.11
3	53.14	58.54	55.43
4	51.31	59.31	54.81
5	50.37	60.09	55.71
6	47.71	61.19	56.07
7	50.43	62.48	56.43

Tabel. 8 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Dinding

Dinding	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
Atas (SS)	28.09	43.17	29.81
Bawah (SS)	27.07	27.82	27.17
Samping Kiri (SS)	27.21	33.09	28.73
Samping Kanan (SS)	27.26	32.6	28.59
Depan (SS)	27.19	30.28	28.28
Depan (Acrylic)	27.74	38.12	29.95
Belakang (Acrylic)	27.11	37.98	29.21

Tabel. 9 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Temperatur Outlet

Temperatur Outlet [°C]		
Min	Max	Av
39.03	54.59	49.89



Gambar. 3 Grafik Rak Terhadap Temperatur Pada Temperatur *Inlet* 60, 80, 100 °C

Gambar.3 merupakan grafik perbandingan temperatur dengan rak berdasarkan temperatur *inlet* pada alat pengering briket arang varian 1 yaitu dengan *inlet* bawah. Hasil grafik menunjukkan variasi temperatur *inlet* 60, 80, 100 °C. Variasi temperatur menunjukkan bahwa temperatur *inlet* sebesar 100 °C telah mendapatkan nilai yang optimum 60 °C pada ruang pengering yaitu pada rak ke-5 dengan nilai temperatur maksimum 60.09 °C. Kemudian pada rak yang lainnya sudah mendekati nilai optimum yang diinginkan yaitu rak-1 57.86 °C, rak-2 58.09 °C, rak-3 58.54 °C, rak-4 59.31 °C, rak-6 61.19 °C, dan rak-7 dengan nilai 62.48 °C.

3.2 Data Setelah Pengujian (Varian 2)

Pengujian pada varian 2 dilakukan sebanyak tiga kali untuk mendapatkan temperatur yang optimum 60 °C dalam ruang pengering. Berikut hasil pengujian tersebut:

a. Pengujian Dengan Temperatur *Inlet* 60 °C

Setelah dilakukan pengujian dengan temperatur *Inlet* 60 °C, kondisi ruang pengering briket arang sebagai berikut:

Tabel. 10 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Rak

Rak	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
1	46.42	49.35	48.11
2	47.04	49.24	48.31
3	46.64	48.84	47.75
4	45.68	47.6	46.12
5	44.72	46.52	45.21
6	43.05	44.99	43.66
7	38.76	41.55	39.62

Tabel. 11 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Dinding

Dinding	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
Atas (SS)	27.92	33.88	28.72
Bawah (SS)	27.01	27.14	27.02
Samping Kiri (SS)	27.02	30.02	27.99
Samping Kanan (SS)	27.02	29.9	27.94
Depan (SS)	27.02	28.81	27.64
Depan (Acrylic)	27.31	34.21	28.89
Belakang (Acrylic)	27.02	34	28.31

Tabel. 12 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Temperatur *Outlet*

Temperatur <i>Outlet</i> [°C]		
Min	Max	Av
32.39	41.49	37.7

b. Pengujian Dengan Temperatur *Inlet* 80 °C

Setelah dilakukan pengujian dengan temperatur 80 °C, kondisi ruang pengering briket arang sebagai berikut:

Tabel. 13 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Rak

Rak	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
1	57.31	62.71	60.75
2	58.94	62.44	60.9
3	57.74	61.54	59.4
4	56.18	59.63	56.88
5	54.21	56.77	55.03
6	50.78	53.61	51.55
7	44.2	48.35	45.27

Tabel. 14 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Dinding

Dinding	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
Atas (SS)	28.46	38.12	29.87
Bawah (SS)	27.01	27.18	27.03
Samping Kiri (SS)	27.04	31.8	28.56
Samping Kanan (SS)	27.03	31.58	28.54
Depan (SS)	27.04	29.99	28.08
Depan (<i>Acrylic</i>)	27.45	38.33	30.05
Belakang (<i>Acrylic</i>)	27.03	38.58	29.14

Tabel. 15 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Temperatur *Outlet*

Temperatur <i>Outlet</i> [°C]		
Min	Max	Av
35.31	46.08	42.62

c. Pengujian Dengan Temperatur *Inlet* 100 °C

Setelah dilakukan pengujian dengan temperatur *Inlet* 100 °C, kondisi ruang pengering briket arang sebagai berikut:

Tabel. 16 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Rak

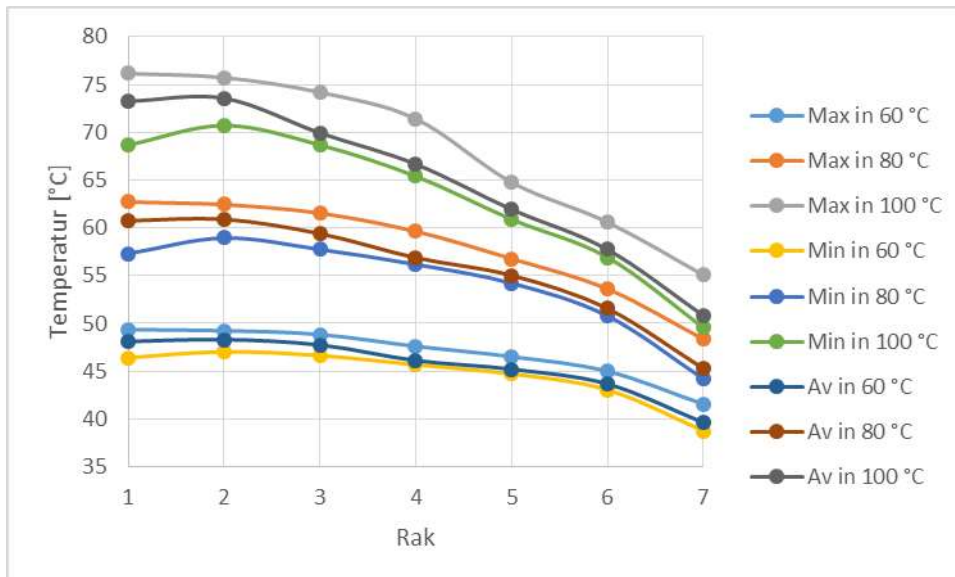
Rak	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
1	68.68	76.16	73.26
2	70.72	75.73	73.57
3	68.68	74.19	69.94
4	65.41	71.41	66.67
5	60.89	64.77	61.93
6	56.91	60.59	57.73
7	49.57	55.07	50.81

Tabel. 17 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Dinding

Dinding	Temperatur [°C]		
	Min	Max	Av
Atas (SS)	29.29	42.19	31.11
Bawah (SS)	27.01	27.14	27.03
Samping Kiri (SS)	27.04	33.82	29.17
Samping Kanan (SS)	27.04	33.4	29.13
Depan (SS)	27.04	31.44	28.54
Depan (Acrylic)	27.81	43.96	31.17
Belakang (Acrylic)	27.03	43.78	29.94

Tabel. 18 Nilai maksimum, minimum, dan rata-rata dari Temperatur Outlet

Temperatur Outlet [°C]		
Min	Max	Av
33.67	51.39	46.35



Gambar. 4 Grafik Rak Terhadap Temperatur Pada Temperatur Inlet 60,80,100 °C

Gambar.3 merupakan grafik hasil temperatur rak pada varian 1 dan Gambar.4 merupakan grafik temperatur rak pada varian 2. Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa hasil simulasi dari berbagai temperatur *inlet* yang paling mendekati nilai optimum dalam ruang pengering pada Gambar.3 hasil dari varian 1. Hal ini disebabkan karena temperatur suatu molekul berbanding terbalik dengan massa jenisnya. Semakin besar temperatur suatu molekul, maka massa jenisnya akan semakin kecil. Karenanya, diperlukan lubang *outlet* pada bagian atas.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Hasil yang mendekati nilai optimum dalam ruang pengering briket arang yaitu pada varian 1. Dimana hasil rata-rata temperatur rak dengan nilai maksimum 56.43 °C dengan temperatur *inlet* 100 °C.
- Desain varian 1 adalah desain yang paling baik dibandingkan varian 2, karena nilai temperatur rak-1 s.d 5 mendekati hasil optimum pada temperatur *inlet* 100 °C. Terdapat temperatur berlebih pada rak-6 s.d 7 namun tidak terlalu jauh yaitu 61.19 °C dan 62.48 °C.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami ucapkan kepada Jurusan Teknik Mesin Universitas Pancasila yang telah mendanai penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Lubis dan A. Sugiyono, "Overview of Energy Planning in Indonesia," dalam *Technical Committee Meeting to Asses and Compare the Potential Rule of Nuclear Power and Other Option in Alleviating Health and Environmental Impacts Electricity Generation*, Vienna, Austria, 1996.
- [2] Indarti, "Country Paper," dalam *Indonesia regional seminar on commercialization of biomass*, Guangzhou, China, 2001.
- [3] K. Abdullah, *Biomass Energy Potential and Utilization in Indonesia*, Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2002.
- [4] E. Koswara, "Analisis Penyebaran Panas Pada Alat Pengering Jagung Menggunakan CFD," Majalengka, Jawa Barat, 2017.
- [5] D. Hendra dan S. Darmawan, "Pembuatan Briket Arang Dari Serbuk Gergajian Kayu Dengan Penambahan Tempurung Kelapa," *Buletin Penelitian Hasil Hutan*, pp. 1-9, 2000.
- [6] W. Paryatmo, *Perpindahan Kalor dan Massa Teori Dasar dan Aplikasi*, Jakarta: Engineering Clinics FTUP, 2011.

PROSES PRODUKSI BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK RUMAH TANGGA DI WILAYAH DUREN MEKAR

Sutanto¹, Toto Supriyanto²

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta
Kampus Baru UI, Depok 16425, Indonesia

Tel: (62-21) 7863531, Fax: (62-21) 7863531, stanto09@gmail.com

²Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Sampah organik dari rumah tangga yang dibuang ke lingkungan di wilayah Duren Mekar sangat beragam dan berlimpah. Contoh sampah tersebut antara lain kulit pisang, kangkung, kubis, bayam, sawi, kacang panjang dan brokoli. Sampah organik dapat dijadikan sebagai bahan baku untuk membuat biogas. Pada proses pembuatan biogas dibatasi pada penggunaan sampah dari kulit pisang, kangkung, kubis dan bayam. Proses pembuatan biogas diawali dengan pemisahan sampah kulit pisang, kangkung, kubis dan bayam dari sampah lainnya. Pada proses awal digunakan sampah kulit pisang sebanyak 4 kg yang diblender sampai halus. Kulit pisang yang telah diblender dicampur dengan air sebanyak 4 liter dan dimasukkan kedalam digester berukuran panjang 30 cm, lebar 30 cm dan tinggi 75 cm yang dilengkapi pipa saluran gas berdiameter ½ in, pipa umpan masuk berdiameter 4 cm, pipa keluaran sisa sampah 4 cm, pipa saluran buangan cairan ½ in serta kran ½ in untuk pengatur aliran biogas. Proses fermentasi anaerob dijalankan selama 7 hari dengan pengamatan tekanan gas setiap 10 jam. Untuk proses selanjutnya dilakukan dengan prosedur yang sama akan tetapi sampah kulit pisang berturut-turut diganti dengan sampah kangkung, kubis dan bayam. Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah kulit pisang adalah 1,03325 bar; diperoleh dalam waktu 110 jam. Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah bayam adalah 1,03066 bar diperoleh dalam waktu 150 jam. Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah kangkung adalah 1,02575 bar diperoleh dalam waktu 150 jam. Tekanan biogas maksimum dari bahan baku sampah kubis adalah 1,02850 bar diperoleh dalam waktu 140 jam. Kesimpulan dari penelitian adalah sampah kulit pisang, bayam, kubis dan kangkung dapat dibuat menjadi biogas. Penghasil biogas terbaik adalah dari sampah kulit pisang

Kata Kunci: sampah organik, digester, fermentasi, anaerob, biogas

Abstract

Organic garbage from households that discharged into the environment in Duren Mekar area is very diverse and plentifully. Some examples of such as banana peel, kale, cabbage, spinach, mustard, long bean and broccoli. Organic garbage can be used as raw material for biogas. To produce biogas is only limited to the use of garbage from banana peel, kale, cabbage and spinach. The biogas is made from banana peel, kale, cabbage and spinach that has been separated from anorganic garbage. At the beginning of the process used banana peel waste as much as 4 kg in a blender until homogeneous. The banana peel that has been blended then mixed with 4 liters of water and put into the digester with size of 20 cm long, 20 cm wide and 30 cm long. The digester was equipped with gas pipe line, feeding tube, liquid outlet pipe and residual solid outlet pipe that each size is ½ inch of diameter of gas pipe line, 2 in of diameter of feeding tube, ½ inch of diameter of liquid outlet pipe and 2 inch of diameter of residual solid outlet pipe. The anaerobic fermentation process is run for 7 days with a gas pressure observation every 10 hours. Subsequently, process was conducted with the same procedure but the banana peel replaced with kale, cabbage and spinach garbage. The maximum biogas pressure that made from banana peel garbage is 1.03325 bar; obtained within 110 hours. The maximum biogas pressure that made from spinach garbage is 1.0366 bar; obtained within 150 hours. The maximum biogas pressure made from kale garbage is 1.02575 bar; obtained within 150 hours. The maximum biogas pressure that made from cabbage garbage is 1.02850 bar obtained within 140 hours. In conclusion, the banana peel garbage, spinach garbage, cabbage garbage and kale garbage can be made biogas. The best production of biogas is using the banana peel garbage.

Keywords: organic garbage, digester, fermentation, anaerobic, biogas

1. PENDAHULUAN

Bank sampah pada saat ini sudah banyak berdiri di daerah Depok dengan tujuan untuk membantu mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA) di Cipayang. Salah satu bank sampah tersebut adalah Bank Sampah Melati Bersih (BSMB) yang beralamat di RW 05, Desa Duren Mekar, Bojongsari, Depok. Bank Sampah ini berdiri pada tahun 2013 dan merupakan bank sampah pertama yang berdiri di Desa Duren Mekar. Kegiatan utama adalah membantu nasabah dalam penimbangan sampah anorganik dan menjual ke pengepul barang bekas, sedangkan sampah organik sebagian ke Unit Pengolah Sampah (UPS) dan yang lainnya dibakar. Bank sampah lain yang berdiri setelah dibina oleh bank Sampah Melati Bersih antara lain Bank Sampah Cempaka beralamat di RW 01, Bank Sampah Teratai Putih beralamat di RW 03, Bank Sampah Mawar 3 beralamat di RW 06 dan Bank Sampah Sawangan Elok beralamat di RW 07. Sampai saat ini jumlah nasabah Bank Sampah Melati Bersih 98 KK dari 1075 KK, Bank Sampah Cempaka 54 nasabah dari 369 KK, Bank Sampah Teratai Putih adalah 24 nasabah dari 483 KK, Bank Sampah Mawar 3 adalah 25 nasabah dari 539 KK serta Bank Sampah Sawangan Elok sebanyak 85 nasabah dari 342 KK. Dari tahun 2013 sampai dengan 2016 Bank Sampah Melati Bersih mampu mengurangi jumlah sampah anorganik yang dibuang ke TPSA di Cipayang sebanyak 20,316 ton. Sampah organik sekitar 8,3 ton atau 60 % per minggu dikirim ke UPS untuk diolah menjadi pupuk dan sisanya 5,6 ton atau 40 % dibuang ke dalam lubang tanah atau dibakar, sehingga dapat mengundang berbagai macam penyakit atau polusi lingkungan. Jenis sampah organik tersebut antara lain kulit buah-buahan, sisa sayuran, buah busuk, nasi basi, sayuran basi dan sebagainya. Sebagai contoh sampah rata-rata per hari untuk kulit pisang adalah 150 kg, sisa sayur kangkung 125 kg, sisa sayur kubis 75 kg dan sisa sayur bayam 100 kg. Untuk mengatasi sampah organik yang belum tertangani tersebut, maka salah satu usaha yang dapat dilakukan adalah mengolah sampah menjadi biogas secara fermentasi anaerob dalam suatu reaktor digester. Biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan oleh warga sebagai bahan bakar untuk rumah tangga. Target luaran dari penelitian ini antara lain model reaktor digester yang sederhana, mudah dioperasikan serta mampu mengubah sampah organik menjadi biogas yang berkualitas tinggi dengan kapasitas 50 kg sampah per hari.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai dari penyiapan bahan baku, alat yang dibutuhkan, penentuan tempat penelitian, merangkai peralatan penelitian, pelaksanaan penelitian dan pengolahan data.

2.1 Bahan

Bahan yang dibutuhkan adalah sampah organik dan air. Sampah organik yang digunakan antara lain: kulit pisang, sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam. Sedangkan air yang digunakan adalah air sungai. Komposisi dari sampah kulit pisang, sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam dapat dilihat pada Tabel. 1,2 ,3 dan 4.

Tabel. 1 Komposisi sampah kulit pisang

Senyawa/Unsur	Komposisi (%)
Air	68,90
Karbohidrat	18,50
Lemak	2,11
Protein	0,32
Kalsium (Ca)	0,715
Phosfor (P)	0,117
Besi (Fe)	0,00160
Vitamin B	0,00012
Vitamin C	0,01750

Tabel. 2 Komposisi sampah sisa sayur kangkung

Senyawa/Unsur	Komposisi (%)
Protein	3
Lemak	0,3
Karbohidrat	5,4
Kalsium (Ca)	0,073
Phosfor (P)	0,050
Besi (Fe)	0,003
Air	91,1740

Tabel. 3 Komposisi sampah sisa sayur kubis

Senyawa/Unsur	Komposisi (%)
Protein	1,3
Lemak	0,1
Karbohidrat	6,0
Kalium (K)	0,17
Natrium (Na)	0,018
Vitamin A	1,0
Kalsium (Ca)	4,0120
Air	87,4

Tabel. 4 Komposisi sampah sisa sayur bayam

Senyawa/Unsur	Komposisi (%)
Protein	3,5
Lemak	0,5
Karbohidrat	6,5
Vitamin B1	0,908
Vitamin C	0,080
Kalsium (Ca)	0,267
Fosfor (P)	0,067
Besi (Fe)	0,0039
Air	88,1741

2.2 Alat-alat pendukung

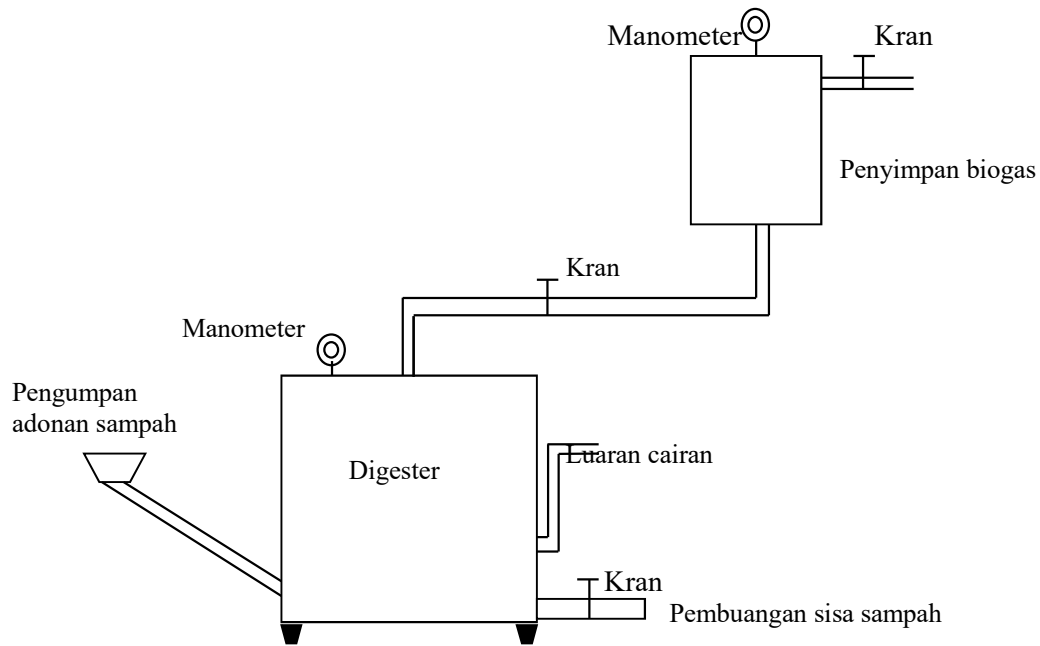
Alat yang digunakan antara lain: manometer logam, reaktor digester, tabung penampung biogas

2.3 Tempat pelaksanaan

Tempat pelaksanaan adalah Laboratorium Listrik, Teknik Elektro PNJ dan Laboratorium Afiliasi Kimia FMIPA UI.

2.4 Rangkaian model alat penelitian

Rangkaian sket model alat penelitian dapat dilihat pada Gambar. 1.



Gambar.1 Rangkaian alat penelitian

Model alat pembangkit biogas terdiri atas reaktor digester, manometer logam dan tabung penyimpanan biogas. Sedangkan model hasil rancangan pembangkit biogas dapat dilihat pada Gambar. 2 atau Gambar.3. Digester terbuat dari bahan baja anti karat dengan ukuran panjang 30 cm, lebar 30 cm dan tinggi 75 cm. Tabung penyimpanan biogas terbuat dari baja tahan karat dengan panjang 20 cm, lebar 20cm dan tinggi 35 cm. Pipa pengumpan dan luaran cairan terbuat dari baja tahan karat dengan diameter 4 cm. Pipa pembuangan sisa sampah terbuat dari baja tahan karat dengan diameter 4 cm. Pipa saluran gas terbuat dari baja tahan karat dengan diameter 2,5 cm.



Gambar.2 Hasil perancangan pembangkit biogas



Gambar.3 Model alternatif pembangkit biogas

2.4 Pelaksanaan penelitian

Pelaksanaan penelitian dimulai dengan menghilangkan sampah lain yang terikut pada sampah kulit pisang. Menimbang 4 kg sampah kulit pisang dan memasukkan sedikit demi sedikit ke dalam mesin pencacah (blender). Menambahkan 200 cc air sungai untuk setiap berat sampah 500 gram kedalam blender, kemudian mesin blender dijalankan sampai didapat adonan sampah yang halus dan homogin. Mengeluarkan adonan sampah dari blender dan memasukkan adonan tersebut ke dalam bejana penyimpan. Proses dihentikan setelah 4 kg sampah diproses menjadi adonan. Selanjutnya ditambahkan 4 liter air sungai kedalam 4 kg adonan sampah kulit pisang, kemudian dimasukkan ke dalam digester dan ditutup rapat sampai tidak ada udara yang dapat masuk kedalam digester. Proses fermentasi anaerob dilakukan selama 7 hari atau sekitar 168 jam dengan pengamatan tekanan gas dilakukan setiap 10 jam. Penelitian berikutnya dilakukan dengan cara yang sama dengan mengganti sampah kulit pisang berturut - turut dengan sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam.

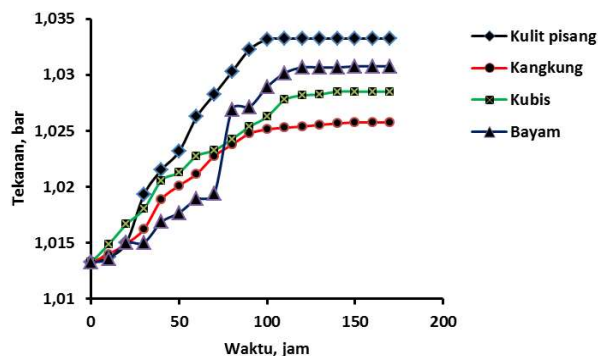
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pembuatan biogas dari sampah kulit pisang, sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam ditunjukkan pada Tabel.5 dan Gambar. 4.

Tabel.5. Hasil pengukuran tekanan biogas

Waktu (Jam)	Tekanan biogas (bar)			
	Kulit pisang	Kangkung	Kubis	Bayam
0	1,01325	1,01325	1,01325	1,01325
10	1,01370	1,01398	1,01486	1,01354
20	1,01501	1,01492	1,01665	1,01498
30	1,01928	1,01621	1,01802	1,01501
40	1,02152	1,01887	1,02056	1,01686
50	1,02315	1,02010	1,02127	1,01767
60	1,02625	1,02115	1,02275	1,01891
70	1,02825	1,02275	1,02325	1,01938
80	1,03025	1,02375	1,02425	1,02689
90	1,03225	1,02475	1,02536	1,02712
100	1,03315	1,02512	1,02625	1,02891
110	1,03325	1,02528	1,02776	1,03015
120	1,03325	1,02538	1,02815	1,03066
130	1,03325	1,02554	1,02825	1,03066
140	1,03325	1,02565	1,02850	1,03066
150	1,03325	1,02575	1,02850	1,03076
160	1,03325	1,02575	1,02850	1,03076
170	1,03325	1,02575	1,02850	1,03076

Berdasarkan Tabel. 5, dapat dilihat bahwa tekanan biogas maksimum dari sampah kulit pisang adalah 1,03325 bar dengan lama waktu proses 110 jam. Tekanan 1,03325 bar nampak stabil sampai proses bejalan 170 jam. Artinya jika proses fermentasi dijalankan lebih dari 110 jam, maka tidak akan menghasilkan tambahan biogas dan hanya akan membuang-buang waktu. Tekanan biogas maksimum dari fermentasi dari sampah kangkung adalah 1,02575 bar dengan lama waktu proses 150 jam. Tekanan 1,02575 bar juga selalu nampak stabil sampai proses bejalan 170 jam. Artinya jika proses fermentasi dijalankan lebih dari 150 jam, maka tidak akan menghasilkan tambahan biogas dan hanya akan membuang-buang waktu. Tekanan biogas maksimum yang dihasilkan dari fermentasi sampah kubis adalah 1,02850 bar dengan lama waktu proses 140 jam. Tekanan 1,02850 bar akan selalu stabil sampai proses bejalan 170 jam. Artinya proses fermentasi yang dijalankan lebih dari 140 jam tidak akan menghasilkan tambahan biogas dan hanya akan membuang-buang waktu. Sedangkan tekanan biogas maksimum yang dihasilkan dari fermentasi sampah bayam adalah 1,03076 bar dengan lama waktu proses 150 jam. Tekanan 1,02850 bar akan selalu stabil sampai proses bejalan 170 jam. Artinya proses fermentasi yang dijalankan lebih dari 170 jam tidak akan menghasilkan tambahan biogas dan hanya akan membuang-buang waktu.



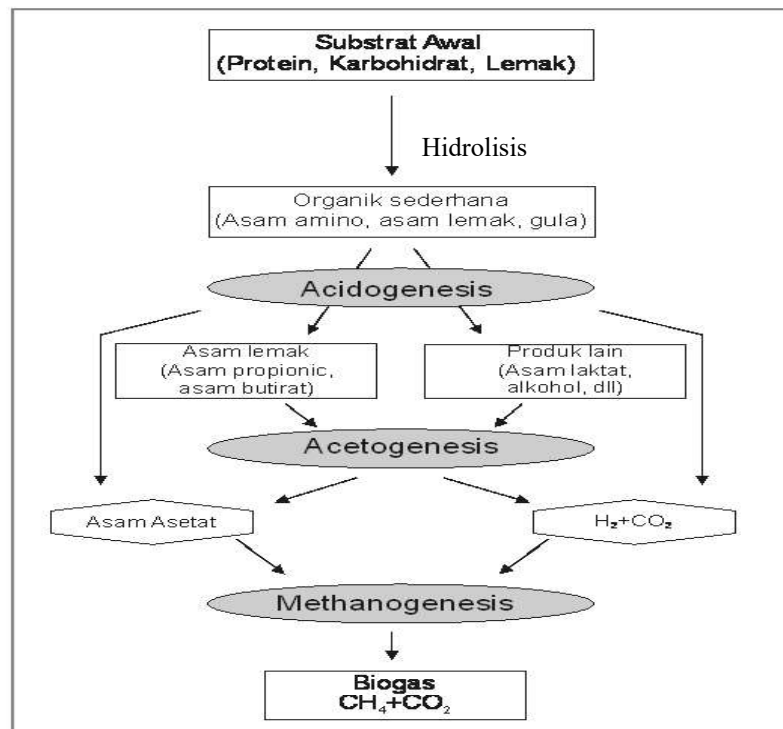
Gambar. 4 Kurva hasil pengukuran tekanan biogas dari berbagai jenis sampah organik

Dari Gambar. 4 dapat dijelaskan bahwa setiap jenis sampah dapat menghasilkan tekanan maksimum biogas yang berbeda-beda. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dinyatakan bahwa setiap jenis sampah organik memiliki kemampuan maksimum yang berbeda-beda dalam menghasilkan biogas [1,2,3]. Tekanan gas paling tinggi adalah tekanan biogas yang dibuat dari sampah kulit pisang diikuti berturut-turut tekanan biogas yang terbuat dari sampah bayam, kubis dan kangkung. Tekanan gas tersebut masing-masing adalah 1,03325, 1,03076, 1,02850 dan 1,02575 bar. Semakin besar tekanan gas yang dihasilkan dari fermentasi suatu sampah, menunjukkan bahwa sampah tersebut mampu menghasilkan biogas yang semakin banyak dibandingkan dengan sampah lainnya. Dalam hal ini tekanan gas paling tinggi dihasilkan dari fermentasi sampah kulit pisang yaitu 1,03325 bar. Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa sampah kulit pisang adalah sampah organik yang paling baik sebagai penghasil biogas diikuti sampah bayam, kubis dan kangkung.

Menurut teori pada pembentukan biogas dinyatakan bahwa biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi sampah organik sangat ditentukan oleh banyaknya kandungan protein, karbohidrat dan lemak dalam sampah organik tersebut. Semakin tinggi kandungan protein, karbohidrat dan lemak, maka biogas yang dihasilkan juga semakin banyak [4,5]. Berdasarkan Tabel. 1, 2, 3 dan 4 terlihat bahwa kandungan protein, karbohidrat dan lemak tertinggi ditemukan pada sampah kulit pisang. Pada kulit pisang kandungan protein 0,32 %, karbohidrat 18,50 % dan lemak 2,11 %. Urutan selanjutnya ditemukan pada sampah bayam, kubis dan kangkung. Kandungan protein, karbohidrat dan lemak pada sampah bayam masing-masing adalah 3,5 %, 6,5% dan 0,5%. Sedangkan pada sampah kubis masing-masing adalah 1,3 %, 6,0% dan 0,1% dan pada sampah kangkung masing-masing adalah 3 %, 5,4 % dan 0,3 %. Berdasarkan kandungan protein, karohidrat dan lemak tersebut dapat dijelaskan bahwa sampah kulit pisang merupakan bahan organik yang mampu menghasilkan biogas yang paling banyak dibandingkan dengan

sampah bayam, kubis dan kangkung. Karena kandungan protein, karbohidrat dan lemak dalam sampah kulit pisang adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan sampah bayam, kubis dan kangkung. Sedangkan secara umum komposisi sampah organik terdiri atas serat kasar 4,1% - 6,0 %, lemak 3,0% - 9,0%, protein 0,5% - 0,8% [6].

Mekanisme pembentukan biogas dari fermentasi anaerob sampah organik yang melibatkan protein, karbohidrat dan lemak dapat dijelaskan sebagai berikut [7]:



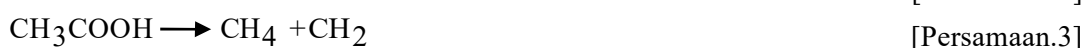
Tahap penguraian (fermentasi) bahan organik secara anaerob menjadi biogas dapat dijelaskan sebagai berikut [8]: hidrolisis, pada tahap ini molekul organik kompleks (karbohidrat, protein dan lemak) diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana berupa gula sederhana, asam amino dan asam lemak. Asidogenesis, pada tahap ini terjadi proses penguraian yang menghasilkan amonia, karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Asetagenesis, pada tahap ini terjadi penguraian produk asidogenesis yang menghasilkan hidrogen, karbon dioksida dan asetat. Metanogenesis, pada tahap ini terjadi penguraian dan sintesis produk tahap sebelumnya menghasilkan gas metana (CH₄). Hasil lain dari proses ini adalah karbon dioksida, air, dan sejumlah kecil senyawa gas lainnya

Reaksi fermentasi secara anaerob dari bahan organik dapat dijelaskan sebagai berikut [9] :

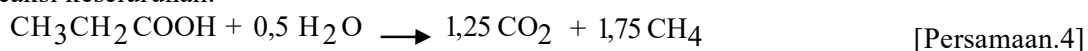
Asam Asetat :



Asam Propionat :



Reaksi keseluruhan:



Dari Persamaan. 4 terlihat bahwa hasil akhir fermentasi anaerob adalah biogas yang mengandung metan (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Berdasarkan Tabel. 1, 2, 3 dan 4 terlihat bahwa sampah kulit pisang, bayam, kubis dan kangkung semuanya mengandung protein, karbohidrat dan lemak. Dengan demikian

dapat diperkirakan bahwa ke empat jenis sampah tersebut ketika mengalami proses fermentasi secara anaerob akan menghasilkan biogas yang terdiri atas campuran metan (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Hal ini juga diperkuat dari hasil uji bakar pada biogas yang menunjukkan bahwa gas tersebut cukup mudah terbakar dengan api berwarna kebiruan. Api yang berwarna kebiruan menunjukkan bahwa sebagian besar biogas mengandung gas metan (CH_4). Berdasarkan penelitian sebelumnya disebutkan bahwa komposisi biogas dari proses fermentasi anaerob dari sampah organik terdiri atas metana CH_4 (55% - 75%), CO_2 (25% - 45%), N_2 (0% - 0,3 %), H_2 (1% - 5 %), H_2S (0% - 3 %) dan O_2 (0,1% – 0,5 %) [10].

Dari Tabel 5 terlihat bahwa waktu tercepat pada pembentukan biogas dengan tekanan maksimum ditemukan pada biogas yang dibuat dari sampah kulit pisang yaitu 110 menit. Tekanan maksimum pada kondisi tersebut adalah 1,03325 bar. Sedangkan waktu pembentukan biogas yang dibuat dari sampah sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam lebih dari 110 menit dengan tekanan maksimum kurang dari 1,03325 bar. Bila dianggap biogas merupakan gas ideal, maka biogas yang dibuat dari sampah kulit pisang adalah yang memiliki bobot paling tinggi dibandingkan dengan biogas yang dibuat dari sampah sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam. Karena semakin tinggi tekanan gas yang terbentuk akan menghasilkan berat gas yang lebih besar dibandingkan dengan tekanan gas yang lebih rendah. Mengingat potensi sampah kulit pisang sekitar 150 kg per hari dan waktu proses pembentukan biogas paling cepat dan tekanan atau berat biogas yang dihasilkan adalah yang paling tinggi, maka dapat direkomendasikan bahwa sampah kulit pisang adalah sampah organik yang paling baik dan potensial sebagai bahan baku untuk pembuatan biogas dibandingkan sampah sisa sayur kangkung, sisa sayur kubis dan sisa sayur bayam.

4. KESIMPULAN

Sampah organik dari kulit pisang, bayam, kubis dan kangkung dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat biogas. Berat sampah yang digunakan untuk membuat biogas dari setiap jenis sampah tersebut adalah 4 kg yang dicampur dengan air 4 liter. Tekanan maksimum biogas yang dihasilkan dari sampah kulit pisang, bayam, kubis dan kangkung masing-masing adalah 1,03325, 1,03076, 1,02850 dan 1,02575 bar dengan lama proses fermentasi secara anaerob adalah 110, 150, 140 dan 150 jam. Sampah kulit pisang adalah sampah yang paling tinggi menghasilkan biogas dengan waktu pembentukan gas paling cepat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada DRPM, Kementerian Riset, Teknologi dan Perguruan Tinggi yang telah memberikan dana pengabdian kepada masyarakat untuk Skim Program Kemitraan Masyarakat (PKM) tahun 2018.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D Anggraini, M. B. Pertiwi, dan D. Bahrin, " Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik", *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 1, no.18, 17-23, 2012
- [2] J. Sutrisno, " Pembuatan Biogas dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung dan Bayam) ", *Jurnal Teknik WAKTU*, vol. 08, no. 01, 1412 – 1867, 2010
- [3] A. Yonathan, A.R. Prasetya dan B. Pramudono, " Produksi Biogas dari Enceng Gondok: Kajian Konsistensi dan pH Terhadap Biogas Dihasilkan", *Jurnal Teknologi dan Industri*, vol. 2, no.2, 211-215, 2013
- [4] D.A. Herawati dan A.A. Wibawa, " Pengaruh Pretreatment Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch", *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 4, no.1, 25-29, 2010
- [5] C.W Yuwono dan T. Soehartanto, " Perancangan Sistem Pengaduk pada Bioreaktor Batch untuk Meningkatkan Produksi Biogas", *Jurnal Teknik Pomits*, vol.2, no.1, 141-146, 2013
- [6] A.Ihsan, S. Bahri dan Mudsafira, " Produksi Biogas Menggunakan Cairan Isi Rumen Sapi dengan Limbah Cair Tempe", *Jurnal of Natural Science*, vol.2, no 2, 27-35, 2013

- [7] E.R. Aidha dan Y.Septriani,"Studi Perolehan Biogas dari Sampah Organik dan Alga (Sargasum SP)", *Jurnal Sains da Teknologi*, vol. 17, no. 1, 1-8, 2017
- [8] Budiyono,A.Wicaksono, H.H.A. Rahmawan dan L.G. K.Wardani," The Effect of Pretreatment Using Sodium Hydroxide and Acetic Acid to Biogas Production from Rice Strew Waste", *Matec Web of Conferences* 101,02011,1-6,2017
- [9] A.Saleh, E.Yilistia dan F.R. Rambe," Purifikasi Biogas Berdasarkan Perbedaan Mesh Kain Nilon dan Laju Alir Biogas", *Jurnal Teknik Kimia*, vol.23,no.2,137-145, 2017
- [10] J.H.Mussnugh, V. Klasen, A. Schluter and O. Kruse, "Microalgae as Substrates for Fermantative Biogas Production in Combined Biorefinery Concept", *Journal of Biotechnology*,vol.150, issues 1,151-56, 2010

MINI PLANT BIOETHANOL SINGKONG DENGAN PEMURNIAN DISTILASI SIEVE TRAY DAN DEHIDRASI CaO

Iqbal Nur Ikhsan¹; Nafidatul Ilmiah²; Nyoman Bagus A.S.³; Shandira Deseliane⁴; Agus Sukandi⁵;
Muhammad Hatta⁶; Erlangga Yudha pratama⁷

¹²³⁴⁵Teknik Mesin, LNG Academy-Politeknik Negeri Jakarta,
Bontang, 081519138416, deselianes@yahoo.com

⁶⁷LNG Academy-PT Badak NGL

Abstrak

Kulit singkong memiliki kandungan pati yang cukup tinggi dan merupakan limbah industri makanan yang kurang dimanfaatkan di Bontang. Dengan adanya kandungan karbohidrat tersebut memungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi etanol pengganti BBM (Fuel Grade Ethanol). Tujuan dari penelitian ini adalah membuat rancang bangun alat yang dapat menghasilkan Fuel Grade Ethanol dari limbah kulit singkong, mengetahui perbandingan antara jumlah bahan baku limbah kulit singkong dengan produk bioetanol dan mengetahui karakteristik bioetanol yang dihasilkan. Proses yang digunakan untuk mengubah limbah singkong menjadi bioethanol meliputi hidrolisis, fermentasi, distilasi, dehidrasi dan kondensasi. Proses hidrolisis menggunakan katalis H₂SO₄ 0,3 M dan menghasilkan kadar gula sebesar 9,68% dan 11,05%. Proses fermentasi menggunakan Saccharomyces cerevisiae selama 7 hari dengan konversi gula menjadi etanol sebesar 50,46% dan selama 3 hari sebesar 12,38%. Proses distilasi dengan sieve tray menghasilkan distilat sebanyak 435 mL dengan kadar etanol 70,5%. Proses dehidrasi menggunakan CaO menghasilkan distillate sebanyak 288,9 mL dengan kadar etanol 99,997%. Alat telah berhasil dirancang dan dibangun dengan perbandingan produksi bioethanol sebesar 0,1926 liter tiap 1 kg limbah singkong yang digunakan.

Kata Kunci: Kulit Singkong, Bioetanol, Distilasi Sieve Tray, Dehidrasi

Abstract

Cassava skin contains high of starch and is a waste of food industry that is not utilized in Bontang. With obstetrical existence the carbohydrate enable to be exploited permanent upon which produce fuel grade ethanol. The objective if this research was to design of fuel grade ethanol mini plant from cassava skin, to get the comparison between the amounts of raw material of cassava skin with bioethanol product and to know about the characteristics of bioethanol. The processes used to convert waste into bioethanol include hydrolysis, fermentation, distillation, dehydration and condensation. The hydrolysis process use H₂SO₄ 0.3 M as catalyst and give sugar levels of 9.68% and 11.05%. The fermentation process used Saccharomyces cerevisiae for 7 days with 50.46% conversion of sugar to ethanol and for 3 days by 12,38%. The distillation process with sieve tray produces distillate of 435 mL with 70.5% ethanol content. The dehydration process using CaO produces distillate of 288.9 mL with ethanol content of 99.997%. The system has been successfully manufactured and produced with the specification of bioethanol production of 0.1926 liters per 1 kg of cassava waste used.

Keywords: Cassava Waste, Bioethanol, Sieve Tray Distillation, Dehydration

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di kota Bontang, hasil panen singkong atau ubi kayu menjadi bagian komoditas bahan pangan yang paling besar setelah padi dan jagung. Namun, tidak semua bagian singkong atau ubi kayu dapat dimanfaatkan sebagai bahan pangan. Beberapa bagian singkong seperti kulit dan pangkal ubi biasanya tidak diolah menjadi produk makanan. Berdasarkan hasil survei, limbah kulit singkong tersebut biasanya hanya dimanfaatkan menjadi pakan ternak, pupuk kompos, atau biasanya dibakar. Meskipun dikategorikan sebagai sampah, namun kulit singkong masih memiliki kandungan serat yang dapat digunakan sebagai sumber energi salah satunya yaitu bioetanol.

Kulit singkong memiliki kandungan pati yang lebih besar yaitu sebesar 44% - 59% berat kering dibandingkan dengan rumput yang memiliki kadar selulosa 40% berat kering dan daun kering yang memiliki kadar selulosa 40,75% berat kering. (Richana, 2013)

Rumput dan daun kering merupakan bahan baku pada penelitian bioetanol yang telah dilakukan sebelumnya oleh alumni LNG Academy. Kedua percobaan yang telah dilakukan, menghasilkan bioetanol dari rumput kering 45,3% dengan distilasi sederhana dan daun kering dengan kemurnian 71% dengan distilasi-adsorpsi silika gel. Sedangkan, kadar bioethanol yang diperbolehkan sebagai campuran bahan bakar (*Fuel Grade Ethanol*) yaitu sebesar 95%-99,8%. (Badan Standarisasi Nasional, 2012)

Oleh karena itu, dilakukan penelitian rancang bangun alat penghasil alat *Fuel Grade Ethanol* dari limbah kulit singkong (*Manihot esculenta*) untuk memanfaatkan limbah organik yang memiliki kadar pati yang lebih besar dengan metode pemurnian distilasi sieve tray dan dehidrasi CaO sebagai upaya meningkatkan kemurnian bioetanol yang dihasilkan.

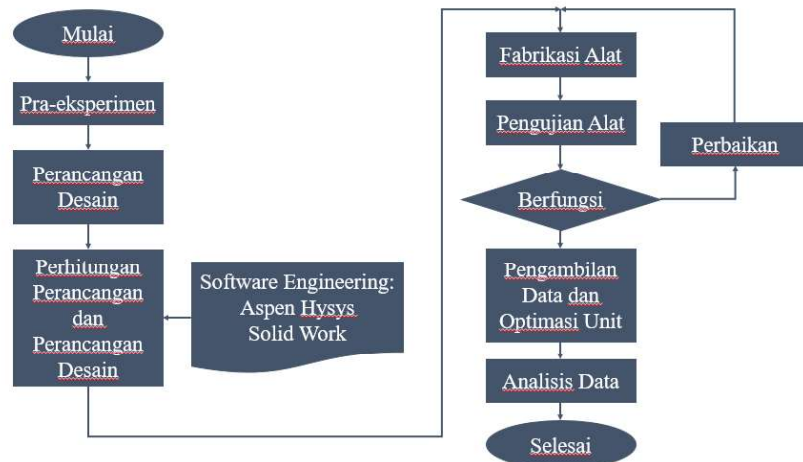
1.2 Tujuan

- Membuat rancang bangun alat yang dapat menghasilkan Fuel Grade Ethanol dari limbah kulit singkong.
- Mengetahui perbandingan antara jumlah bahan baku limbah kulit singkong dengan produk bioetanol.
- Mengetahui karakteristik bioetanol yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir

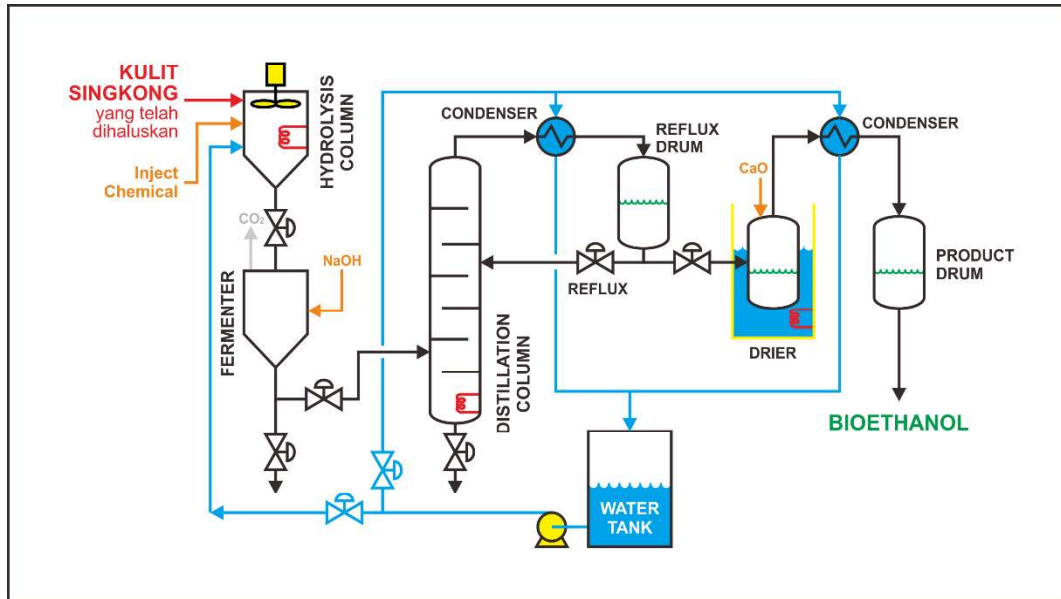
Gambar 1 berikut menunjukkan diagram alir pengerjaan mini plant bioethanol singkong dengan pemurnian distilasi sieve tray dan dehidrasi CaO.



Gambar 1. Diagram Alir Pengerjaan

2.2 Perancangan Proses

Proses pembuatan bioetanol terjadi dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah persiapan bahan baku, yang berupa proses hidrolisa pati menjadi glukosa. Tahap kedua berupa proses fermentasi, merubah glukosa menjadi etanol dan CO₂. Sedangkan tahap ketiga yaitu pemurnian hasil dengan cara distilasi dan absorpsi.

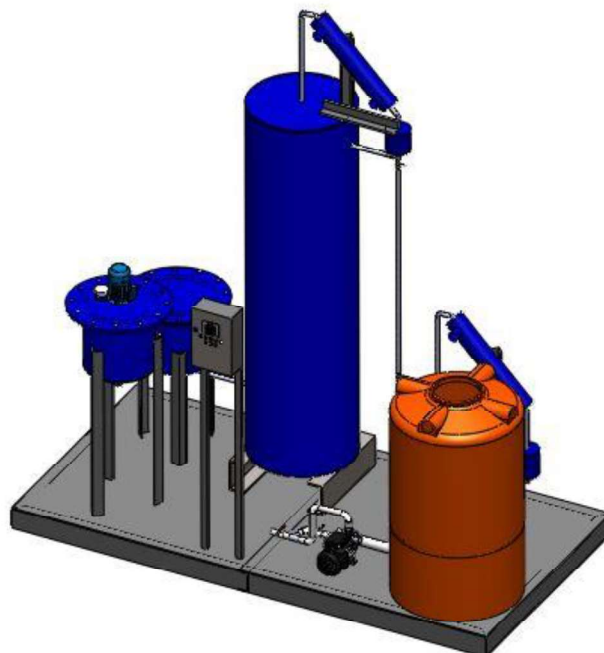


Gambar 2. Mass Balance Proses Mini Plant Fuel Grade Ethanol Kulit Singkong

2.2 Perancangan Alat

Dalam pembuatan alat pengolahan bioetanol ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan dalam sisi mekanikalnya, yaitu:

- Penentuan volume masing- masing bejana sesuai dengan kebutuhan proses. Menentukan dimensi kolom distilasi dengan Constant Molar Overflow (Sinott, 2003). Penentuan dimensi condenser dengan Cengel (2002).
- Penentuan material alat sesuai dengan fluida kerja dan *life time*.
- Penentuan ketebalan dan MAWP masing-masing bejana berdasarkan ASME Boiler & Pressure Vessel Section VIII Division 1 (ASME, 2007 dan ASME, 2001).
- Penentuan jenis dan ketebalan insulasi.
- Penentuan dimensi dan material *piping* & jenis *valve* yang akan digunakan (ASME, 2008 dan API, 2004).
- Perancangan tata letak dan struktur *support* bejana.
- Penentuan sistem sirkulasi air pendingin.
- Pelaksanaan fabrikasi



Gambar 3. Desain Alat Mini Plant Fuel Grade Ethanol Kulit Singkong

2.3 Perancangan Sistem Instrumentasi, Kontrol dan Kelistrikan

Dalam pembuatan sistem kontrol (**Badan Standarisasi Nasional, 2000**) pada alat pengolahan bioetanol ini terdapat beberapa tahap yang dilakukan, yaitu:

- Penentuan parameter kontrol pada proses, yaitu level, temperatur, tekanan, dan laju alir.
- Penentuan kontroler yang digunakan, yaitu arduino.
- Penentuan peralatan listrik yang diperlukan, yaitu motor dan heater.
- Penentuan alat ukur dan instrumentasi yang digunakan, yaitu level switch, thermocouple, pressure gauge, dan solenoid valve.
- Pembuatan sistem kontrol untuk proses.
- Perancangan sistem kelistrikan untuk sumber daya peralatan dengan tegangan suplai 220 VAC.
- Perancangan sistem proteksi kelistrikan.

2.4 Proses Eksperimen

Dalam penelitian ini data primer didapat dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Dilakukan hidrolisis untuk mengubah pati pada limbah kulit singkong menjadi glukosa dengan larutan H_2SO_4 0,3 M pada suhu $120^{\circ}C$ sambil diaduk selama 5 menit setelah suhu tercapai pada kolom hidrolisis. Hasil hidrolisis kemudian diuji dengan *brix refractometer* untuk mengetahui kadar glukosa yang dihasilkan.
- Dilakukan fermentasi dari hasil hidrolisis dengan penambahan ragi, NPK, urea dan gula. Hasil fermentasi kemudian diuji dengan *brix refractometer* untuk mengetahui kadar glukosa yang tersisa.
- Dilakukan distilasi pada kolom distilasi sieve tray untuk pemisahan etanol dan air. Distilat kemudian diuji dengan piknometer untuk mengetahui kadar etanol dengan membandingkan dengan kurva standar etanol.
- Dilakukan dehidrasi dengan CaO untuk pemurnian etanol lebih lanjut. Kemudian hasil dehidrasi diuji dengan piknometer untuk mengetahui kadar etanol dengan membandingkan dengan kurva standar etanol.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Alat



Gambar 4. Hasil Alat Mini Plant Fuel Grade Ethanol Kulit Singkong

- Dimensi Total
 - Panjang : 2,4 m
 - Lebar : 1,2 m
 - Tinggi : 2,4 m

- b. Material
- Kolom Hidrolisis : Stainless Steel
 - Kolom Fermenter: Stainless Steel
 - Kolom Distilasi : Carbon Steel dengan Sieve Tray Stainless Steel
 - Kondenser : Carbon Steel dengan Inner Tube Copper Nickel
 - Kolom Dehidrasi : Stainless Steel
 - Product Drum : Carbon Steel
 - Tangki Air : Plastik
 - Process Piping : Stainless Steel Tube & Flexible Hose
 - Water Piping : PVC
 - Base & Support : Carbon Steel

3.2 Analisa Produk

a. Produk Kolom Hidrolisis

Hasil dari proses hidrolisis menggunakan asam sulfat 0,3 M. Semakin tingginya konsentrasi glukosa maka etanol yang akan terbentuk akan semakin besar pula karena bahan yang akan difermentasi menjadi etanol adalah glukosa. Pengujian kadar glukosa pada penelitian menggunakan alat brix refractometer. Refraktometer merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kadar atau konsentrasi bahan terlarut. Perbedaan kadar glukosa pada setiap sampel. Hal ini dikarenakan kandungan pati pada sampel yang diambil berbeda sehingga mempengaruhi glukosa yang dihasilkan.

Tabel 1. Hasil Percobaan nilai total gula atau brix kolom hidrolisis

No.	Komposisi Bahan (%VH ₂ SO ₄)	Skala Brix	Kadar Glukosa
1.	10 %	9.8	9.68 %
2.		11.2	11.05 %

b. Produk Kolom Fermenter

Proses fermentasi berlangsung secara anaerob. Indikator keberhasilan proses fermentasi dapat pula diketahui dengan cara melihat gelembung-gelembung udara yang ada pada indikator aquades, yang merupakan gas karbondioksida (CO₂) salah satu hasil dari fermentasi.

Hasil kadar gula setelah proses fermentasi yang diperoleh dari kolom fermenter pada alat fuel grade ethanol seperti pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Percobaan kolom fermenter

No.	Lama Fermentasi (Jam)	Skala Brix		Kadar Glukosa		Glukosa Terkonversi
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
1.	504 jam	9,8	4,8	9.68 %	4,79 %	50,46 %
2.	72 jam	11,2	9,8	11,05 %	9,68%	12,38%

Berdasarkan Tabel 2 ditunjukkan bahwa terdapat perbedaan glukosa sisa setelah fermentasi pada sampel pertama dan kedua. Hal tersebut dikarenakan kandungan glukosa awal yang berbeda dan disimpulkan bahwa waktu fermentasi yang lebih lama akan menyebabkan glukosa terkonversi menjadi bioetanol secara sempurna.

c. Produk Kolom Distilasi

Pengukuran kadar etanol pada percobaan ini adalah menggunakan metode berat jenis. Pengukuran dilakukan melalui penimbangan dengan berat larutan etanol dalam piknometer menggunakan neraca analitik pada suhu kamar. Piknometer yang digunakan di dalam penelitian ini adalah piknometer yang berukuran 25 mL. Kadar ethanol dari sample kolom distilasi diperoleh seperti pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Output Distilasi

No.	Keberadaan Etanol	Volume (mL)	Massa Piknometer	Massa	Berat Jenis	Kadar Ethanol
1.	Distilat	435	15,31	37,68	0,895	70,5 %
2.	Bottom	12578		39,95	0,986	7,3 %

Proses distilasi dari tabel 3 kadar ethanol pada hasil distilasi mencapai kemurnian 70,5% dengan volume 435 mL. Sedangkan bottom produk yang dihasilkan sebanyak 12578 mL dengan kandungan alkohol 7,3%.

d. Produk Kolom Dehidrasi

Reaksi yang terjadi antara H₂O dengan CaO yaitu eksotermis sehingga menghasilkan panas dan membentuk hidrat. Setelah dicampur dan diaduk selama 1 menit, campuran tersebut dipanaskan pada suhu 80°C. Uap yang terbentuk merupakan ethanol, kemudian dikondensasikan menggunakan pendingin. Ethanol cair hasil keluaran diukur kadarnya menggunakan piknometer pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil Output Dehidrasi

No.	Keberadaan Etanol	Volume (mL)	Massa Piknometer	Massa	Berat Jenis	Kadar Ethanol
1.	Distilat	288,9	15,31	36,62	0,852	99,997 %

Berdasarkan tabel 4 proses dehidrasi mampu meningkatkan kemurnian yang ethanol yang tinggi hingga 99,997%, dimana ethanol dengan kemurnian tersebut termasuk dalam ethanol kering dan sesuai dengan standar untuk pencampuran bahan bakar atau gasohol.

Untuk mengetahui bioethanol yang dihasilkan tiap kilogram feed yang digunakan maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$J_e = \frac{1}{J_b} \times B_d$$

$$= \frac{1}{1,5} \times 0,2889 = 0,1926 \text{ L/kg}$$

Dimana:

J_e = Jumlah Bioethanol per kilogram feed (Liter/kg)

J_b = Jumlah bahan baku (kg)

B_d = Bioethanol yang dihasilkan (Liter)

(Mailool, Molenaar, Tooy, & Longkong)

Berdasarkan persamaan diatas, didapatkan perhitungan hasil bioethanol per kilogram kulit singkong sebesar 0,1926 Liter untuk setiap 1 kg bahan baku.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan adalah:

- a. Telah berhasil dilakukan perancangan dan pembangunan SEM-FGDE: “Semi-Continuous Mini Plant Fuel Grade Ethanol Manihot esculenta” Dengan Metode Pemurnian Distilasi Sieve Tray dan Dehidrasi CaO.
- b. Perbandingan bioethanol yang dihasilkan SEM-FGDE: “Semi-Continuous Mini Plant Fuel Grade Ethanol Manihot esculenta” Dengan Metode Pemurnian Distilasi Sieve Tray dan Dehidrasi CaO sebanyak 0,1926 Liter tiap kilogram singkong yang digunakan.
- c. Bioethanol yang dihasilkan SEM-FGDE: “Semi-Continuous Mini Plant Fuel Grade Ethanol Manihot esculenta” Dengan Metode Pemurnian Distilasi Sieve Tray dan Dehidrasi CaO memiliki kemurnian 99,997%.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] API, *API 610 Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries*, Washington, D.C: American Petroleum Institute, 2004.
- [2] ASME, *ASME Boiler and Pressure Vessel Section VIII Division 1 Code*, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2007.
- [3] ASME, *ASME Process Piping B31.3-2008*, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2008
- [4] ASME, *ASME Boiler & Pressure Vessel Section II D Code*, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2001
- [5] Badan Standarisasi Nasional, *Bioetanol Terdenaturasi Untuk Gasohol.*, Jakarta: BSN, 2012
- [6] Badan Standarisasi Nasional, *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)* Yayasan PUIL, Jakarta, 2000
- [7] Cengel, A. Yunus & Boles, A. Michael, *Thermodynamics An Engineering Approach*, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York 2002.
- [8] Mailool, J.C., Molenaar, R, Tooy, D., & Longkong I.A. (t.thn). PRODUKSI BIOETANOL DARI SINGKONG (Manihot utilissima) DENGAN SKALA LABORATORIUM. Universitas Sam Ratulangi.
- [9] Richana, Nur. 2013. *Mengenai Potensi Ubi Kayu dan Ubi Jalar*. Bandung :Nuansa Cendikia.
- [10] Sinnott, R. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering*. Great Britain: Butterworth Heinemann, 2003

Teknik dan Manajemen Industri

**RESTRUKTURISASI ROLE PADA SAP BERBASIS SEGREGATION OF DUTIES
Muhamad Rifnaldy Pratama¹, Tri Widjatmaka¹; Sopar Marnaek Marpaung²**

¹Politeknik Negeri Jakarta, Griya Bukit Jaya Blok C14 No23 Desa Tlajung Udik Kecamatan Gunung Putri, Kab. Bogor, 081286201330. Rifnaldy.muhamad@gmail.com

²PT. Holcim Indonesia Tbk.

Abstrak

Segregation of duties (SOD) merupakan suatu konsep pemisahan tanggung jawab untuk penyelesaian suatu rangkaian tugas dengan cara pembagian tanggung jawab ke beberapa posisi yang berfungsi sebagai suatu tindakan kontrol aktivitas untuk pencegahan hal-hal yang tidak diinginkan oleh perusahaan. Tujuan restrukturisasi untuk menghilangkan user yang memiliki composite role lebih dari satu dan menghilangkan user yang memiliki composite role yang bukan wewenangnya serta menghilangkan conflict yang terjadi pada transaction code di dalam satu composite role. Studi dilakukan pengambilan data historical pemakaian SAP (System Application and Product in data processing) selama 2 tahun terakhir, data tersebut diambil dari dalam system SAP, setelah data didapatkan, maka data tersebut dibuat menjadi database yang berfungsi untuk mempermudah pencarian data. Selanjutnya dilakukan pembuatan desain composite role dan single role dengan cara melakukan mapping pada seluruh transaction code berdasarkan fungsinya, setelah transaction code dipisahkan dilakukan proses initial design untuk membuat design composite role dan single role yang baru berdasarkan fungsi dari transaction code pada setiap posisi. Setelah proses initial design, maka terlihat ada tidaknya conflict pada transaction code, proses tersebut dinamakan analisis conflict-validation data dengan user, hasil data dari proses initial design dan analisis conflict diskusi bersama user terkait untuk memastikan bahwa tidak ada akses yang hilang dan berpotensi mengganggu operasional. Setelah melakukan proses validasi data dan tidak ada lagi issue yang terjadi, maka dibuatkan dokumen final summary yang berisi seluruh design composite role, single role, dan t-code. Final summary berfungsi sebagai dokumen persetujuan dari pihak user bahwa telah menyetujui design yang diajukan. Dari hasil Re-strukturisasi role pada SAP didapatkan hasil berupa tidak ada lagi user yang memiliki composite role lebih dari satu, tidak ada lagi user yang memiliki composite role yang bukan wewenangnya, dan tidak ada lagi conflict yang terjadi pada tcode di dalam suatu composite role.

Kata Kunci: Manajemen Risiko, Segregation of Duties, SAP.

Abstract

Segregation of duties (SOD) is a concept of separation of responsibility for completing a series of tasks by dividing responsibility into positions that serve as an activity control action to prevent unfavorable things by the company. The purpose of restructuring is to remove users who have more than one composite role and eliminate users who have a non-authoritative composite role and eliminate conflicts that occur in the transaction code within a composite role. The study took the historical data of SAP (System Application and Product in data processing) usage during the last 2 years, the data is taken from SAP system, after the data obtained, and then the data is made into a database that serves to facilitate the search data. Furthermore, the design of composite roles and single roles is done by mapping the entire transaction code based on the function, after the transaction code is separated, the initial design process is done to create a new composite role and single role design based on the function of the transaction code at each position. After the initial design process, then there is no conflict in the transaction code, the process is called conflict analysis validation of data with users, data results from the initial design process and conflict discussion analysis with related users to ensure that no access is lost and potentially disrupt operations. After validating the data and no more issues occur, a final summary document containing all of the design composite roles, single roles, and t-code is created. Final summary serves as a document approval from the user that has approved the design submitted. From the result of Re-Structuring role on SAP, the result is no more users has more than one composite role, no user has composite role which is not authorized, and no conflict occurs on t-code in a composite role.

Keywords: Risk Management, Segregation of Duties, SAP

1. PENDAHULUAN

Untuk menjalankan unit usahanya perusahaan yang bergerak di bidang semen menggunakan ERP (Enterprise Resources Planning) sebagai sarana untuk menjalankan kegiatan operasional perusahaan, software yang

digunakan adalah *SAP (System Application and Product in data processing)*. Seluruh transaksi yang terjadi di dalam perusahaan dilakukan secara *real time* dengan menggunakan *SAP*. Dengan menggunakan *SAP* membuat seluruh proses transaksi menjadi lebih cepat dan efisien.

1.1 Latar Belakang

Perusahaan yang bergerak di bidang semen memiliki banyak transaksi yang terjadi selama kegiatan operasional berlangsung. *SAP* terdiri dari beberapa modul di dalamnya seperti *Logistic, Financial, Human Resources, Maintenance* dan *Sales* yang dapat bekerja secara terintegrasi. Akses ke dalam *SAP* tidak dimiliki oleh seluruh karyawan, hanya dimiliki oleh setiap karyawan yang memiliki wewenang berdasarkan jabatan yang dimiliki. Untuk dapat mengakses *SAP*, karyawan diberikan *SAP Id* yang mana di dalamnya terdapat *composite role, single role, dan t-code* yang dapat digunakan untuk melakukan aktivitas operasional berdasarkan posisi yang dimiliki.

Berdasarkan *policy* pada perusahaan yang bergerak di bidang semen seharusnya setiap *user* yang memiliki akses ke dalam *SAP* hanya memiliki 1 *composite role*, yang mana *composite role* tersebut menggambarkan posisi atau jabatan yang ditempati oleh karyawan tersebut. Di dalam *composite role* terdapat beberapa *single role*, yang mana *single role* tersebut menggambarkan aktivitas apa saja yang menjadi tanggung jawabnya pada posisi tersebut. Selanjutnya di dalam setiap *single role* terdapat *t-code-t-code* yang digunakan dalam aktivitas yang terdapat pada *single role* yang dimiliki oleh karyawan tersebut.

Idealnya setiap *user* hanya memiliki 1 *composite role*, tetapi pada kenyataannya setiap *user* ada yang memiliki lebih dari satu *composite role*, yang berarti *user* tersebut memiliki akses ke dalam *SAP* untuk posisi lain yang bukan wewenangnya. Hal tersebut dapat membuat suatu risiko terjadinya *fraud*, yang mana satu *user* dapat melakukan 2 pekerjaan yang seharusnya tidak bisa dilakukan oleh satu orang. Contohnya adalah seorang *user* dapat melakukan *create purchase requisition* serta dapat pula melakukan *release purchase requisition* yang mana dua hal tersebut tidak dapat diberikan otorisasinya kepada satu orang karena dapat menimbulkan risiko *conflict* yang menimbulkan kemungkinan terjadinya *fraud, material miss attenment, dan financial statement manipulation*.

1.2 TUJUAN

Tujuan restrukturisasi adalah membuat *zero conflict* pada *SAP* di perusahaan yang bergerak di bidang semen pada direktorat *CIP (Cement Industrial Performance)* dengan pendekatan *segregation of duties (SOD)* yang diharapkan: (1) Tidak ada *user* yang memiliki *composite role* lebih dari satu, (2) Tidak ada *user* yang memiliki *composite role* yang bukan wewenangnya, (3) Tidak ada *conflict* pada *t-code-t-code* yang ada pada *composite role* dan *single role*, dan (4) seluruh *user* memiliki akses *composite role* dan *single role*.

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Identifikasi Masalah

Proses identifikasi masalah dilakukan untuk mengetahui latar awal masalah yang diperoleh pada departemen *Information Technology* di perusahaan yang bergerak di bidang semen.

2.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah ditentukan setelah masalah teridentifikasi. Rincian masalah diperlukan untuk mengetahui pokok masalah. Tujuan penelitian untuk membuat desain *composite role, single role, dan t-code* sesuai dengan posisi masing-masing *user* dan diharapkan tidak ada lagi *user* yang memiliki *composite role* lebih dari satu dan juga tidak ada lagi *conflict* yang terjadi pada *t-code* di dalam suatu *composite role*.

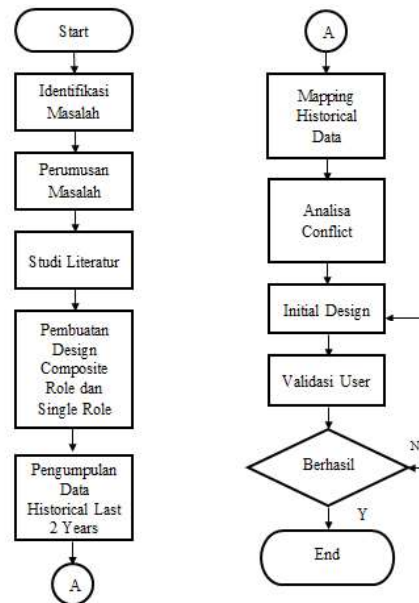
2.3 Studi Literatur

Literatur dan pustaka yang didapat untuk mengetahui dasar-dasar manajemen risiko, pengendalian internal, dan untuk mencari metode yang digunakan pada *project SOD*.

2.4 Pembuatan Desain *Composite Role* dan *Single Role*

Pada pembuatan desain *composite role* dan *single role* terdapat beberapa tahapan yang dilakukan untuk membuat desain tersebut. Tahapan untuk pembuatan desain *composite role* dan *single role* meliputi: pengumpulan data, pembuatan database, dan analisis data.

Diagram alir pelaksanaan restrukturisasi ditunjukkan sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pelaksanaan restrukturisasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proses *Mapping*

Proses pertama dalam restrukturisasi adalah proses *mapping* yang dilakukan pemisahan *transaction code* yang digunakan selama 2 tahun ke belakang berdasarkan posisinya masing-masing:

- *Corporate Bag Plant*
Pada *Corporate Bag Plant* terdapat 5 posisi yang berbeda, yaitu *Bag Plant Manager*, *Bag Operation Head*, *Bag Manufacture Shift Team Leader* dan *Quality assurance*.
- *Corporate Energy & Process*
Pada *Corporate Energy & Process* terdapat 2 Posisi yang berbeda yaitu *Head of Corporate Energy & Process* dan *Energy & Process Engineer*, tetapi dari data yang diberikan oleh *HEABS (Holcim East Asia Business Support)* tidak ditemukan *historical* pemakaian *transaction code* dalam 2 tahun ke belakang.
- *Corporate Maintenance*
Pada *Corporate Maintenance* terdapat 4 posisi yang berbeda, yaitu *Head of Corporate Maintenance*, *Electrical Preventive Maintenance*, *Mechanical Preventive Maintenance*, dan *SAP/MAC Specialist*. Dari ke empat posisi tersebut hanya satu posisi yang memiliki *historical t-code* di dalam *SAP* yaitu posisi *SAP/MAC Specialist*, untuk posisi *Mechanical Preventive Maintenance Specialist* memiliki data *single role* dan *composite role* di dalam *SAP*, tetapi tidak memiliki *historical* penggunaan *t-code*.
- *Corporate Project Management*

Pada *Corporate Management* terdapat 11 Posisi yang berbeda, yaitu *Head of Corporate Project Management, Capex Project & Construction Manager, Capex Project & Construction Engineer, Civil Design & Construction Manager, Civil Design & Construction Engineer, Electrical & Process Control Tech Manager, Electrical & Process Control Tech Engineer, Design Process & Construction Manager, Design Process & Construction Engineer, Safety Engineer, dan Secretary.*

- *Corporate Quality Control*

Pada *Corporate Quality Control* terdapat 5 posisi yang berbeda, yaitu *Head of Corporate Quality Control, OWC Product Specialist, PQM Sustainability & Quality Management, Product Certification, Product Dev/Cement&RMC/Cust Interface.*

- *Corporate Raw Material Development*

Pada *Corporate Raw Material Development* terdapat 3 posisi yang berbeda, yaitu *Head of Corporate Raw Material Development, Geology Resv&Resrc (MIC)/Quarry Dscqp, dan Heavy Equipment Strategy,-* tetapi dari data yang diberikan oleh HEABS tidak ditemukan *historical* pemakaian *transaction code* dalam 2 tahun ke belakang.

- *Corporate Performance Management & EVE*

Pada *Corporate Performance Management & EVE* terdapat 4 Posisi yang berbeda, yaitu *Head of Performance Management & EVE, Planning & Reporting Coordinator, EVE Supervisor, EVE Workshop Attendant.* Khusus untuk *Corporate Performance Management & EVE* untuk posisi *Head of Performance Management & EVE* dan *Planning and Reporting Coordinator* sebenarnya memiliki *historical tcode*, tetapi *composite role* yang dimiliki oleh user pada posisi tersebut bukan *composite role* untuk posisi *Head of Performance Management & EVE* dan *Planning and Reporting Coordinator*, maka *t-code historical* tersebut tidak dapat dijadikan *base* pembuatan desain yang baru.

3.2 Analisis Conflict

Dari 7 *Corporate* di dalam CIP hanya ada 4 *Corporate* yang memiliki *historical* data penggunaan *transaction code* yaitu *Corporate Bag Plant, Corporate Maintenance, Corporate Project Management, dan Corporate Quality Control* untuk yang lainnya tidak memiliki *historical transaction code*, sehingga tidak perlu dilakukan proses analisis *conflict*. SOD risk matrix ditunjukkan sebagaimana Gambar 2.

Process	COSO	Procedure/Function	Grp	SOD Risk Matrix																					
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Purchasing	R	Create Requisition	1		X		*		*	X	X	X	X	*											
	A	Approve Requisition	2	X		*		*		X	X	X	X	*											
	R	Create PO	3		*		X		*		X	X	X	*											
	A	Approve PO	4	*		X		*		X	X	X	X	*											
	R	Create Voucher	5		*		*		X	X	X	X	X	*											
	A	Approve Voucher	6	*		*		X		X	X	X	X	*											
	C	Cut Check	7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
	A	Add/Edit Vendor	8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
	A	Approve Vendor	9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
Reconciliation	RX	Bank Reconciliation	10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	*	X	X	X	X					X		
Journal Entry	R	Enter JE	11		*		*		*	X			*	X	X	X	X	X							
	A	Approve JE	12	*		*		*		X			X	X	X	X	X	X							
Cash Receipts	C	Custody of Cash	13										X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		
	A	Approval of Bank Deposit	14										X	X	X	X	X	X	X						
	R	Post Receipts	15										X	X	X	X	X	X	X						
	A	Add/Edit Customers	16											X	X	X	X	X	X						
	RX	TGRRCO (BANNER)	17											X	X	X	X	X	X						
Emp Comp	R	Hire Employee	17																X	X	X	X	X		
	A	Change Compensation	18												X					X			X		
	A	Change Benefits	19												X					X			X		
	C	Create Paycheck	20											X		X				X	X		X		
	RX	ADP Recon	22																	X	X	X	X		

COSO Category

R Record
A Authorize
C Custody
RX Reconcile

SOD Risk Level

X Elevated Risk
* Low Risk

Gambar 2. SOD Risk Matrix

3.3 Initial Design

Pada proses *initial design* dibuat *composite role* yang baru berdasarkan dengan judul jabatan yang ada pada *workday*, sebagai contoh posisi *Head of Performance Management*, maka *composite*-nya bernama Z:PT00_C_HeadOfPerformanceMgt&EVE. Pengertian dari “Z” adalah kode yang berasal dari perusahaan yang bergerak di bidang semen, “PT00” adalah kode yang berarti *composite role* yang berlaku untuk seluruh *plant* yang ada di perusahaan yang bergerak di bidang semen, sementara “C” berarti *Composite role*.

Ada dua jenis *design* yang diajukan yaitu, *default design* dan *design* berdasarkan *historical t-code*. Untuk yang pertama adalah *default design*, *design* diberikan kepada *user* yang sebelumnya *historical t-code*-nya tidak terekam oleh *HEABS* atau bahkan *user* tersebut memang belum pernah menggunakan *SAP* sebelumnya dan jenis yang kedua adalah *design* berdasarkan *historical t-code* yang ada pada setiap posisi

Hasil pembuatan *initial design* untuk seluruh *corporate* yang ada pada direktorat *CIP*:

a) Corporate Bag Plant

Untuk *Corporate Bag Plant* semua posisi memiliki *historical t-code*, yang mana hal tersebut berarti seluruh posisi di dalam *Corporate Bag Plant* menggunakan *SAP* untuk kegiatan operasionalnya. Dari 4 posisi yang ada 3 diantaranya memiliki *conflict* pada *single role*, yaitu:

Untuk posisi *Bag Plant Manager* *conflict* terjadi pada *single role* *Release Purchase Requisition* dan *Create Purchase Order*, karena tidak diperbolehkan *user* yang melakukan *approve* di dalam *Purchase Requisition* melakukan *Create Purchase Order* karena jika 2 *single role* tersebut dimiliki di satu posisi menimbulkan risiko terjadinya *fraud*, selain hal tersebut *Single Role Create Purchase Order* hanya boleh dimiliki oleh direktorat *Procurement*.

- Untuk Posisi *Bag Operation Head* tidak ada *conflict* terjadi, tetapi ada *single role* yang seharusnya hanya dimiliki oleh Departemen *Procurement*, maka dari itu diberikan warna merah untuk *Create Purchase Order* sebagai tanda bahwa *single role* tersebut tidak pada posisi yang tepat.;
- Untuk posisi *Bag Shift Team Leader* tidak ada *conflict* yang terjadi, dan
- Untuk posisi *Nar Quality Assurance* tidak memiliki *historical*, sehingga diberikan *default design*.

- b) *Corporate Energy & Process*
Pada *Corporate Energy & Process*. Untuk *Corporate Energy & process* karena tidak ditemukan adanya *historical* pemakaian *SAP* selama 2 tahun, maka diasumsikan pada setiap posisi tidak melakukan aktivitas di dalam *SAP*, maka dari itu diberikan desain *default* untuk setiap posisinya.
- c) *Corporate Energy & Process*
Untuk *Corporate Maintenance* hanya ditemukan *historical transaction code* hanya pada posisi *MAC/SAP Specialist* dan setelah dilakukan analisis *transaction code* yang digunakan hanya berupa *report* dan *transaction code* tersebut telah tercakup di dalam *single role Corporate CIP Report*, maka dari itu untuk seluruh posisi yang ada pada *Corporate Maintenance* diberikan *default design*.
- d) *Corporate Project Management*
Untuk *Corporate Project Management* 3 dari 11 posisi tidak memiliki *historical t-code* yaitu *Plant Designer*, *Safety Engineer*, dan *Secretary* dan diberikan *default* desain serta sisanya memiliki *historical t-code*. Dari seluruh posisi ada beberapa posisi yang memiliki *single role* yang bukan pada tempatnya walaupun pada dasarnya *single role* tersebut tidak membuat suatu *conflict* di dalam suatu *composite role*, yaitu:
- Pada posisi *Capex Project Management & Construction Manager* dan *Electrical & Process Control Tech Manager* memiliki *single role Maintain Project* padahal seharusnya pada posisi setingkat manager bukan kapasitasnya lagi dalam melakukan *maintain project*, sehingga *single role* tersebut diberi tanda warna merah.
 - Pada posisi *Electrical & Process Control Tech Engineer* memiliki *single role Inventory Movement* padahal seharusnya *single role* tersebut dimiliki oleh orang gudang, sehingga menjadi pertanyaan kenapa pada posisi tersebut memiliki *single role Inventory Movement*, untuk lebih jelasnya, maka diberi tanda merah agar dapat menjadi bahan diskusi bersama *user* terkait.
- e) *Corporate Quality Control*
Untuk *Corporate Quality Control* karena tidak ditemukan adanya *historical* pemakaian *SAP* selama 2 tahun, diasumsikan pada setiap posisi tidak melakukan aktivitas di dalam *SAP*, maka dari itu diberikan *default* desain untuk setiap posisinya
- f) *Corporate Raw Material Development*
Untuk *Corporate Raw Material Development* karena tidak ditemukan adanya *historical* pemakaian *SAP* selama 2 tahun, maka diasumsikan pada setiap posisi tidak melakukan aktivitas di dalam *SAP*, maka dari itu diberikan *default* desain untuk setiap posisinya.
- g) *Corporate Performance Management & EVE*
Pada *Corporate Performance Management & EVE*. Untuk *Corporate Performance Management & EVE* untuk posisi *Head of Performance Management & EVE* dan *Planning & Reporting Coordinator* memiliki *historical transaction code*, tetapi *historical* tersebut bukan untuk posisi yang sekarang, maka dari itu data tersebut tidak bisa dijadikan landasan untuk pembuatan desain *single role*, sehingga untuk posisi tersebut diberikan *default* desain dan untuk posisi *EVE Supervisor* dan *EVE Workshop Attendant* yang tidak memiliki *historical transaction code* menggunakan *SAP*.

3.4 Validasi User

a) Corporate Bag Plant

Corporate Bag Plant ditunjukkan sebagaimana Tabel 1.

Tabel 1. Corporate Bag Plant

No	Postion	Composite Role	Single Role
1	Bag Plant Manager	Z:PT00_C_BagPlantManager	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CCOwner Z:PT00_S_ReleasePR Z:PT00_S_TravelExpenses_App
2	Bag Operation Head	Z:PT00_C_BagOperationHead	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_CreateandChangeProcessOrder Z:PT00_S_GoodsReceipt Z:PT00_S_ConfirmandCancelProcessOrder Z:PT00_S_StockTransfer Z:PT00_S_Create_PurchaseOrder Z:PT00_S_TravelExpense_App
3	Bag Shift Team Leader	Z:PT00_C_BagOperationTeam Leader	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_CreateandChangeProcessOrder Z:PT00_S_MRP Z:PT00_S_PM_WorkOrder Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_Create_PurchaseOrder Z:PT00_S_PM_Notification Z:PT00_S_TravelExpense_Req
4	Quality Assurance	Z:PT00_C_QualityAssurance	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Req

b) Corporate Energy & Process

Corporate Energy & Process ditunjukkan sebagaimana Tabel 2.

Tabel 2. Corporate Energy & Process

No	Roles	Composite Role	Single Role
1	Head Of Corporate Energy & Process	Z:PT00_C_HeadOfCorp Energy&Process	Z:PT00_S_CIP_Report_FR Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_TravelExpense_Owner_App
2	Energy & Process Engineer	Z:PT00_C_Energy&Pro cessEngineer	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner_App

c) Corporate Maintenance

Corporate Maintenance ditunjukkan sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Corporate Maintenance

No	Roles	Composite Role	Single Role
1	Head Of Corporate Maintenance	Z:PT00_C_HeadOfCorp Maintenance	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CIP_Report_FR Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
2	Electrical Preventive Maintence Specialist	Z:PT00_C_ElectPreventi veMaintSpecialist	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
3	MAC/SAP Specialist	Z:PT00_C_SAPSpecialist	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
4	Mechanical Preventive Maintence Specialist	Z:PT00_C_MechPreventi veMaintSpecialist	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner

d) Corporate Project Management

Corporate Project Management ditunjukkan sebagaimana Tabel 4.

Tabel 4. Corporate Project Management

No	Roles	Composite Role	Single Role
1	Head Of Coporate Management	Z:PT00_C_HeadOfCorpora teMgt	Z:PT00_S_CCowner Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report_FR Z:PT00_S_ReleasePurchaseRequisition Z:PT00_S_TravelExpense_Owner_App
2	Capex Project Mgt & Construction	Z:PT00_C_CapexProjectMgt&Construction	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report_FR Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_ProjectCoordinator Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_TravelExpense_App Z:PT00_S_CreatePurchaseOrder_Emergency
3	Capex Project Mgt & Construction Engineer	Z:PT00_C_EngCapexProjectMgt&Construction	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report_FR Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_MaintainProject Z:PT00_S_ProjectCoordinator Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_TravelExpense_Req
4	Civil Design& Construction Manager	Z:PT00_C_CivilDesign&Co nstructionManager	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_ReleasePurchaseRequisition Z:PT00_S_TravelExpense_App
5	Civil Design& Construction Engineer	Z:PT00_C_CivilDesign&Co nstructionEngineer	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_MaintainProject Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_TravelExpense_Req Z:PT00_S_ChangePurchaseRequisition
6	Electrical&Proces s Control Tech. Manager	Z:PT00_C_Electrical&Proc essCtrManager	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_ReleasePurchaseRequisition Z:PT00_S_TravelExpense_App
7	Electrical&Proces s Control Tech. Engineer	Z:PT00_C_Electrical&Proc essCtrEngineer	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_MaintainProject Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_TravelExpense_Req Z:PT00_S_ChangePurchaseRequisition
8	Engineering Design - Process & Construction	Z:PT00_C_EngineeringDsg Process&ConsManager	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_ReleasePurchaseRequisition Z:PT00_S_TravelExpense_App
9	Engineering Design - Process & Construction Engineer	Z:PT00_C_EngineeringDsg Process&ConsEngineer	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_MaintainProject Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_TravelExpense_Req Z:PT00_S_ChangePurchaseRequisition
10	Safety Engineer	Z:PT00_C_SafetyEngineer	Z:PT00_S_TravelExpense_App Z:PT00_S_CostCenterReport
11	Secretary	Z:PT00_C_Secretary	Z:PT00_S_TravelExpense_App

e) Corporate Quality Control

Corporate Quality Control ditunjukkan sebagaimana Tabel 5.

Tabel 5. Corporate Quality Control

No	ROLES	COMPOSITE ROLE	SINGLE ROLE
1	Head Of Corporate Quality Control	Z:PT00_C_HeadofCorpQuaityCon trol	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_CIP_Report_FR Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
2	OWC Product Specialist	Z:PT00_C_OWCPProductSpecialist	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_SES Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
3	PQM SUSTAINABILITY & QUALITY MANAGEMENT	Z:PT00_C_PQMSustainability&Qt yMGT	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
4	Product Certification	Z:PT00_C_ProductCertification	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
5	PRODUCT DEV./CEMENT & RMX/CUST.INTERFACE	Z:PT00_C_ProductDevCmtRMXInt erface	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_SES

f) *Corporate Raw Material Development*

Corporate Raw Material Development ditunjukkan sebagaimana Tabel 6.

Tabel 6. *Corporate Raw Material Development*

No	Roles	Composite Role	Single Role
1	Head Of Corporate Raw Material	Z:PT00_C_HeadofCorpRawMaterialDev	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CIP_Report_FR Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
2	GEOLOGY RESV&RESRC (MIC) & QUARRY DSCQP	Z:PT00_C_GeologyRSVP&MIC&QuarryDSCQP	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner
3	Heavy Equipment Strategy	Z:PT00_C_HeavyEquipmentStrategy	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Owner

g) *Corporate Performance Management & EVE*

Corporate Performance Management & EVE ditunjukkan sebagaimana Tabel 7.

Tabel 7. *Corporate Performance Management & EVE*

NO	ROLES	COMPOSITE ROLE	SINGLE ROLE
1	Head of Performance Management & EVE	Z:PT00_C_HeadOfPerformanceMgt&EVE	Z:PT00_S_CCOwner Z:PT00_S_CIP&GeoReport Z:PT00_S_GAVReport Z:PT00_S_TravelExpense_App
2	EVE Supervisor	Z:PT00_C_EVESupervisor	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_CostCenterReport
3	EVE Workshop Attendant	Z:PT00_C_EVEWorkshopAttendant	Z:PT00_S_Corporate_CIP_Report Z:PT00_S_TravelExpense_Req
4	Planning and Reporting Coordinator	Z:PT00_C_Planning&ReportingCoordinator	Z:PT00_S_CIP&GeoReport Z:PT00_S_CIP_Report_FR Z:PT00_S_CostCenterReport Z:PT00_S_GAVReport Z:PT00_S_TravelExpense_Req

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil restrukturisasi *role* pada *SAP* dapat disimpulkan hasil yang telah didapat yaitu:

- a. Telah dapat 100% menghilangkan *user* yang memiliki *composite role* lebih dari satu,
- b. Telah dapat 100% menghilangkan *user* yang memiliki *composite role* yang bukan wewenangnya,
- c. Telah dapat 100% menghilangkan *conflict* yang terjadi pada *transaction code* di dalam suatu *composite role*, dan
- d. Telah dapat membuat desain untuk seluruh *user* yang sebelumnya tidak memiliki *composite role* dan *single role* sesuai dengan permintaan dari *BOD (Board of Director)*.

PEMBANGKIT TENAGA LISTRIK

Analisis Efektivitas *Heat Exchanger Generator Thrust Bearing Oil Cooler* Unit 7 PLTA Cirata

Annisa Sekarayu Permanajati, Imroatunnisa, Elfi Nurrohmah, Benhur Nainggolan
Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. G.A. Siwabessy Kampus Baru UI, Beji, Kukusan, Kota Depok.
imroatunnisa29@gmail.com

Abstrak

Alat penukar kalor digunakan sebagai peralatan pendinginan maupun pemanasan di bidang industri. Tubular alat penukar kalor adalah salah satu alat penukar kalor yang terdiri dari sebuah tabung besar (shell) dengan sejumlah pipa (tube). PLTA Cirata memiliki peralatan bantu sistem pendinginan berupa generator thrust bearing oil cooler. Generator thrust bearing oil cooler menggunakan tipe shell and tube heat exchanger one shell pass two tube pass. Oil cooler berfungsi sebagai pendingin minyak pelumas dengan media air. Minyak pelumas yang mengalir di dalam shell oil cooler digunakan untuk mendinginkan, melumasi, serta meredam getaran pada generator thrust bearing. Air pendingin yang mengalir di dalam tube oil cooler berasal dari air buangan draft tube yang dipompakan oleh cooling water pump. Cara untuk mendapatkan hasil perpindahan panas oil cooler maksimal, dibutuhkan temperatur minyak pelumas yang keluar dari oil cooler sebesar 36°C. Dari data yang diamati, temperatur minyak pelumas yang keluar dari oil cooler mengalami kenaikan tertinggi sebesar 41°C. Analisis dilakukan dengan metode Log Mean Temperature Diferensial (LMTD). Kinerja generator thrust bearing oil cooler dapat diketahui dari perhitungan efektivitas heat exchanger dengan parameter temperature fluida masuk dan suhu fluida keluar, debit fluida, massa jenis fluida, kapasitas kalor fluida, dan koefisien perpindahan panas fluida serta luas penampang dari shell dan tube. Pada data pengujian mesin, laju perpindahan panas oil cooler sebesar 297,718 kW dan efektivitas oil cooler sebesar 0,46. Namun terjadi penurunan pada data operasi saat ini didapatkan laju perpindahan panas oil cooler dengan rata-rata sebesar 175,899 kW dan efektivitas oil cooler dengan rata-rata sebesar 0,272. Hal tersebut disebabkan adanya penurunan perbedaan temperatur minyak pelumas sebesar 4°C seharusnya perbedaan temperatur minyak pelumas dapat mencapai 9°C. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai efektivitas dan laju perpindahan panas heat exchanger pada generator thrust bearing oil cooler di PLTA Cirata melalui perbandingan dari data pengujian mesin dan data operasi saat ini.

Kata kunci : oil cooler, perpindahan panas, shell-tube, efektivitas

Abstract

Heat exchangers are used as cooling and heating equipment in industry. Shell and tube heat exchanger is one of heat exchanger consists of a shell with a number of tubes. PLTA Cirata has cooling system in the form of thrust bearing oil cooler generator. Thrust bearing oil cooler generator using shell and tube type heat exchanger one shell pass two tube pass. Oil cooler used for lubricating oil cooler with water medium. Lubricating oil is used to cool, lubricate, and reduce vibration in the thrust bearing generator. The cooling water flowing in the tube oil cooler comes from the draft tube drainage pumped by the cooling water pump. How to get maximum oil cooler heat transfer results, it takes the temperature of lubricating oil out of the oil cooler of 36 ° C. From the observed data, the temperature of lubricating oil out of the oil cooler experienced the highest increase of 41 ° C. The analysis using Logarithmic Mean Temperature Diferensial (LMTD) method. The performance of thrust bearing oil cooler generator can be seen from the calculation of the effectiveness of heat exchanger with parameters of inlet fluid temperature and outlet fluid temperature, fluid flow, fluid density, fluid heat capacity, and fluid heat transfer coefficient also cross-sectional area of the shell and tube. In commissioning data, oil cooler heat transfer rate is 297,718 kW and oil cooler effectiveness is 0.46. However, there is a decrease in current operating data obtained oil cooler heat transfer rate with an average of 175.899 kW and oil cooler effectiveness with an average of 0.272. This is due to a decrease in the temperature difference of the lubricating oil of 4 ° C should the temperature difference of the lubricating oil can reach 9 ° C. This study aims to determine the value of effectiveness and heat transfer heat exchanger rate on thrust bearing oil cooler generator at PLTA Cirata through comparison of commissioning data and current operating data.

Keywords: oil cooler, heat transfer, shell-tube, effectiveness

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga air merupakan energi bersih, tidak menimbulkan polusi, dan sumber energi terbarukan. PLTA menggunakan air yang dapat digunakan kembali untuk kebutuhan lain, seperti irigasi. Cara kerjanya yaitu air menggerakkan *runner* turbin untuk menghasilkan listrik. Hal ini dilakukan dengan cara mengubah energi potensial air menjadi energi kinetik, kemudian energi kinetik diubah menjadi energi mekanik turbin air yang dihubungkan dengan generator sehingga dapat menghasilkan listrik. [1]

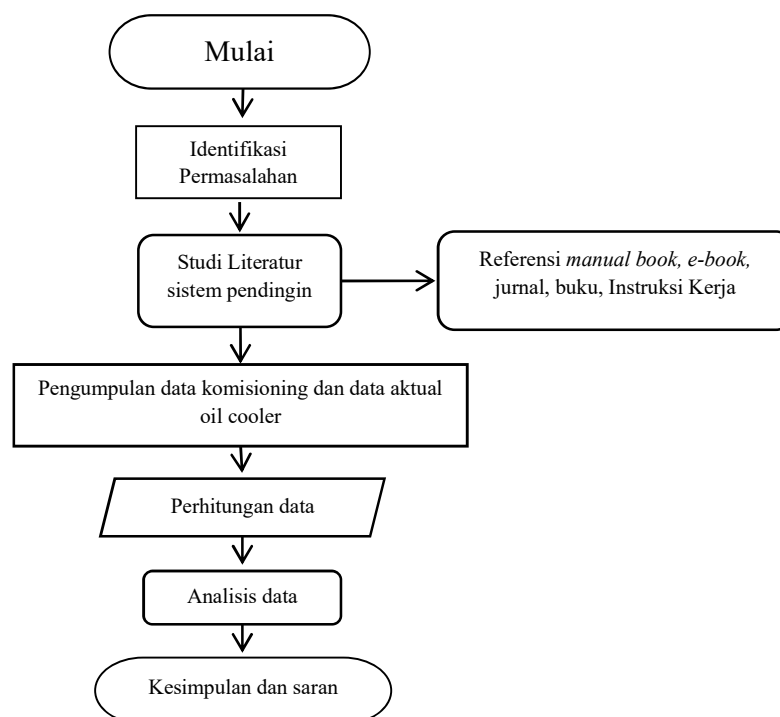
Generator merupakan komponen utama pembangkit listrik, di mana tegangan yang diinduksikan pada kumparan tergantung pada kuat medan magnet, panjang penghantar dalam kumparan dan kecepatan putar. Generator yang dihubungkan seporos dengan turbin air, memiliki bantalan poros yang berfungsi sebagai penahan beban generator terhadap poros. Generator dioperasikan secara terus menerus, maka diperlukan sistem pendingin untuk menjaga temperatur bantalan poros dengan menggunakan minyak pelumas. Minyak pelumas melakukan penyerapan kalor dari bantalan poros sehingga bantalan poros tidak mengalami panas berlebih. Proses pertukaran panas ini dibutuhkan sebuah *heat exchanger*.

Heat exchanger adalah sebuah peralatan yang digunakan untuk menukarkan panas antara dua fluida yang memiliki perbedaan temperatur tetapi tetap menjaga agar kedua fluida tidak tercampur satu sama lain. *Heat exchanger* biasanya digunakan pada berbagai aplikasi, mulai dari pemanas dan pendingin pada peralatan rumah tangga hingga pemrosesan kimia dan produksi listrik skala besar. *Heat exchanger* berbeda dengan ruang bakar. Perpindahan panas pada *heat exchanger* biasanya melalui proses konduksi dan konveksi melalui dinding pemisah kedua fluida. *Heat exchanger* bekerja dengan U sebagai koefisien perpindahan panas total. Perpindahan panas dipengaruhi oleh luas permukaan *heat exchanger* yang bergantung pada besarnya temperatur di area tersebut. [2]

Pada *Generator Thrust Bearing Oil Cooler* unit 7 PLTA Cirata menggunakan tipe *shell and tube*. *Shell and tube* merupakan *heat exchanger* berupa sebuah cangkang berbentuk silinder (*shell*) dan pipa-pipa yang didesain berada sejajar di dalam cangkang (*tubes*). *Generator Thrust Bearing Oil Cooler* Unit 7 PLTA Cirata memiliki bentuk aliran *one pass shell two pas tube*. Pada penelitian ini membahas efektivitas *heat exchanger* dengan perbandingan antara data komisioning dan data aktual pada saat ini.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Metode Pelaksanaan



Gambar 1 Diagram Alir Metode Penelitian

2.2 Metode Pelaksanaan

Tahap awal dalam penelitian ini adalah observasi. Observasi ini dilakukan pada saat melaksanakan Praktek Kerja Lapangan (PKL) dan mencari informasi kepada orang-orang industri atau pembimbing untuk mengetahui permasalahan yang ada pada dunia industri. Tahap selanjutnya adalah studi literatur yaitu mencari semua informasi dari *manual book*, *e-book*, jurnal, buku, dan instruksi kerja yang berhubungan dengan sistem pendinginan sehingga dapat menunjang kebutuhan penelitian. Setelah semua informasi telah diperoleh, langkah selanjutnya yaitu melakukan pengumpulan data. Data untuk penelitian ini diperoleh dari *logsheet* kerja operasi di PLTA Cirata. Kemudian data diolah menggunakan formula-formula termodinamika untuk mendapatkan nilai efektivitas *heat exchanger*. Setelah mendapatkan perhitungan efektivitas *heat exchanger*, langkah berikutnya yaitu analisis data dan metode terakhir yaitu berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis.

Generator thrust bearing oil cooler Unit 7 PLTA Cirata memiliki spesifikasi seperti pada tabel 1.1

Tabel 1.1 Spesifikasi *Generator thrust bearing oil cooler* Unit 7 PLTA Cirata

Tipe	OK-6/440 (<i>Shell & Tube</i>)
Diameter <i>tube</i>	Ø 3/8"
Bentuk <i>tube</i>	<i>Round seamless tube</i>
Material <i>tube</i>	CuNi (90% Cu, 10% Ni)
Jumlah <i>tube</i>	556
Panjang <i>tube</i>	4460 mm
Material <i>tube sheet</i>	Brass (kuningan)
Diameter <i>tube sheet</i>	Ø 390 mm
Tebal <i>tube sheet</i>	25 mm
Material <i>baffle</i>	Brass (kuningan)
Jumlah <i>baffle</i>	17 unit
Tebal <i>baffle</i>	2 mm
Diameter pengikat <i>baffle</i>	Ø 14 mm
Jumlah pengikat <i>baffle</i>	6 unit
Panjang pengikat <i>baffle</i>	3900 mm

2.3 Efektivitas *Heat Exchanger*

Efektivitas adalah suatu nilai pendekatan yang banyak dipergunakan dalam kegiatan analisis atau perancangan sebuah *heat exchanger*, di samping metode beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD). Suatu sistem pendinginan dapat dianalisis efektivitasnya, apakah sudah sesuai atau masih kurang dalam melakukan kerjanya. Efektivitas atau kinerja dapat diartikan sebagai daya guna atau sebuah pencapaian. Adanya kesesuaian dalam suatu kegiatan melaksanakan kerja dengan sasaran yang dituju. Efektivitas *heat exchanger shell-tube* berarti suatu pencapaian alat penukar panas dalam melakukan kerjanya. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efektivitas yaitu temperatur, kecepatan/debit, dan luas penampang. [3]

Efektivitas *heat exchanger* dapat diketahui melalui perhitungan dengan rumus sebagai berikut

$$\varepsilon = \frac{Q_{actual}}{Q_{max}} \quad (2.1)$$

Q aktual merupakan laju perpindahan panas aktual dari panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin yang mengalir di *heat exchanger*. Ada 2 perhitungan untuk mendapatkan nilai Q aktual, yaitu [2]

$$Q_{actual} = \dot{m}_c \times c_{pc} \times (T_{c\ out} - T_{c\ in}) \quad (2.2)$$

atau

$$Q_{actual} = \dot{m}_h \times c_{ph} \times (T_{h\ in} - T_{h\ out}) \quad (2.3)$$

Di mana :

\dot{m}_c = laju massa fluida dingin (kg/s)

\dot{m}_h = laju massa fluida panas (kg/s)

c_{pc} = kapasitas kalor spesifik fluida dingin (kJ/kg K)

c_{ph} = kapasitas kalor spesifik fluida panas (kJ/kg K)

$T_{c\ in}$ = suhu masuk fluida dingin (K)

$T_{c\ out}$ = suhu keluar fluida dingin (K)

$T_{h\ in}$ = suhu masuk fluida panas (K)

$T_{h\ out}$ = suhu keluar fluida panas (K)

Q max merupakan nilai perpindahan panas terbesar yang dihasilkan oleh fluida yang mengalir di *heat exchanger*. Q max memiliki rumus sebagai berikut, [3]

$$Q_{max} = C_{min} \times (T_{h\ in} - T_{c\ in}) \quad (2.4)$$

Di mana :

C_{min} = hasil dari $\dot{m}_c \times c_{pc}$ atau $\dot{m}_h \times c_{ph}$ yang memiliki nilai terkecil

2.4 Metode Perhitungan Logarithmic Mean Temperature Difference

Pada suatu heat exchanger dapat bergerak *parallel flow* atau *counter flow*, dan profil temperaturnya dapat ditunjukkan. Perbedaan temperatur antara fluida panas dan fluida dingin berubah antara sisi masuk dan sisi keluar, hal tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan formula : [3]

$$Q = U A_s \Delta T_m \quad (2.5)$$

Persamaan untuk menghitung nilai LMTD dari masing-masing jenis *heat exchanger* yaitu : [4]

1. *Parallel flow* dan *counter flow*

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} \quad (2.6)$$

Di mana untuk *parallel flow* :

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} \quad (2.7)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2} \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk *counter flow* :

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad (2.9)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \quad (3.0)$$

2. *Multi pass dan cross flow* :

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{cf} \quad (3.1)$$

Di mana :

F = faktor koreksi, $F < 1$

ΔT_{lm} = LMTD counterflow (K)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data efektivitas dan koefisien perpindahan panas *generator thrust bearing oil cooler* Unit 7 PLTA Cirata. Hasil pengolahan data membandingkan antara data komisioning dan data saat ini disajikan berupa tabel dan grafik serta hasil analisis kinerja *generator thrust bearing oil cooler* Unit 7 PLTA Cirata.

Tabel 2 Data Commissioning 2014

Comissioning	Tc ₁ (°C)	Tc ₂ (°C)	Th ₁ (°C)	Th ₂ (°C)	Q aktual (kW)	Q maks (kW)	U (W/m ² K)	LMTD	ε
	26,7	31,72	44	36	297	642,267	355	10,18	0,462

Tabel 3 Kinerja *Heat Exchanger* pada 12 Maret 2018

12-Mar-18	Jam	Tc ₁ (°C)	Tc ₂ (°C)	Th ₁ (°C)	Th ₂ (°C)	Q aktual (kW)	Q maks (kW)	U (W/m ² K)	LMTD	ε	Rf (m ² °C/W)
	11:00	27	29,8	44,5	39,5	186,610	653,134	185,601	13,557	0,286	0,0031
	12:00	27	29,8	44,5	39,5	186,610	653,134	185,601	13,557	0,286	0,0031
	13:00	27	29,8	44,5	39,5	186,610	653,134	185,601	13,557	0,286	0,0031
	14:00	27	29,5	44	39,5	186,476	634,018	190,63	13,189	0,294	0,0029
	15:00	27	30,1	44,5	39	205,197	652,900	210,256	13,159	0,314	0,0024
	16:00	27	29,5	44	39,5	167,888	634,245	168,256	13,454	0,265	0,0037
	17:00	27	29,2	44	40	149,288	634,473	145,331	13,85	0,235	0,0047
	18:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	179,132	14,056	0,278	0,0033
	19:00	27	29,5	45	40	186,743	672,275	177,599	14,177	0,278	0,0033
	20:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	179,132	14,056	0,278	0,0033
	21:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	179,132	14,056	0,278	0,0033
	22:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	179,132	14,056	0,278	0,0033
23:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	179,132	14,056	0,278	0,0033	
0:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	179,132	14,056	0,278	0,0033	

Tabel.4 Kinerja *Heat Exchanger* pada 13 Maret 2018

13-Mar-18	Jam	Tc ₁ (°C)	Tc ₂ (°C)	Th ₁ (°C)	Th ₂ (°C)	Q aktual (kW)	Q maks (kW)	U (W/m ² K)	LMTD	ε	Rf (m ² °C/W)
	11:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	12:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	13:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	14:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	15:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034

	16:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	17:00	27	29,2	45	41	149,501	672,756	122,832	14,852	0,222	0,0053
	18:00	27	29,2	45	41	149,501	672,756	122,832	14,852	0,222	0,0053
	19:00	27	29,2	45	41	149,501	672,756	122,832	14,852	0,222	0,0053
	20:00	27	29,2	45	41	149,501	672,756	122,832	14,852	0,222	0,0053
	21:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	22:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	23:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	0:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034

Tabel.5 Kinerja *Heat Exchanger* pada 14 Maret 2018

	Jam	Tc1 (°C)	Tc1 (°C)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Q aktual (kW)	Q maks (kW)	U (W/m2 K)	LMTD	ε	Rf (m ² °C/W)
14-Mar-18	11:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	45	0,00336
	12:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	45	0,00336
	13:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	45	0,00336
	14:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	45	0,00336
	15:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	45	0,00336
	16:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	45	0,00336
	17:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425
	18:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425
	19:00	27	30,4	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00395
	20:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425
	21:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425
	22:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425
	23:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425
0:00	27	29,3	43	39	149,074	596,294	141,57	12,849	43	0,00425	

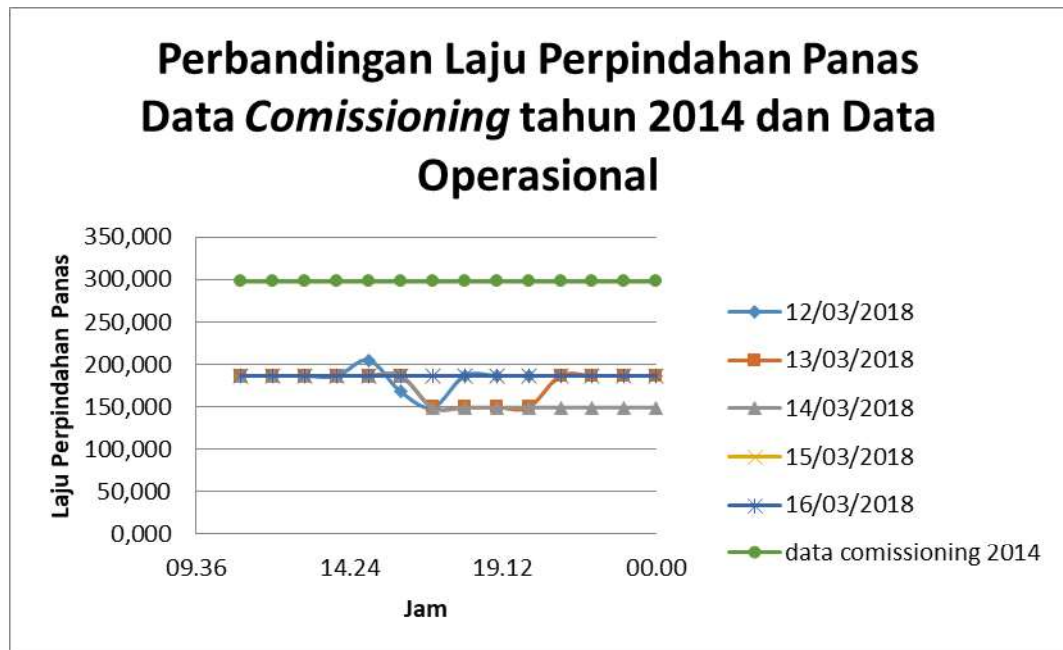
Tabel.5 Kinerja *Heat Exchanger* pada 15 Maret 2018

	Jam	Tc1 (°C)	Tc1 (°C)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Q aktual (kW)	Q maks (kW)	U (W/m2 K)	LMTD	ε	Rf (m ² °C/W)
15-Mar-18	11:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	12:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	13:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	14:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	15:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	16:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	17:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	18:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	19:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	20:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	21:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034

	22:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	23:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034
	0:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,0034

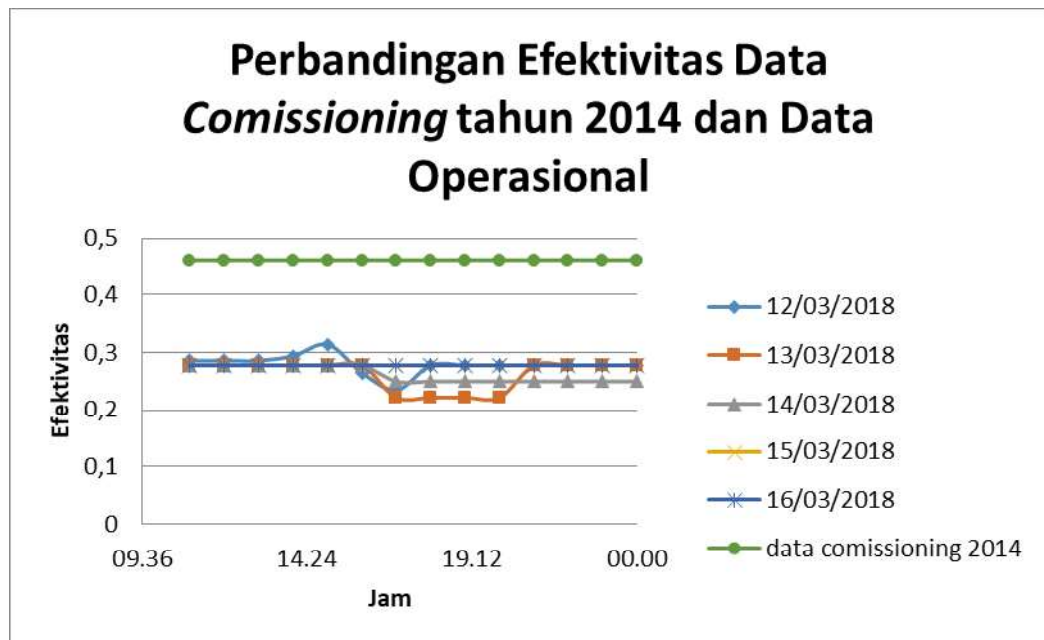
Tabel.6 Kinerja Heat Exchanger pada 16 Maret 2018

15-Mar-18	Jam	Tc1 (°C)	Tc1 (°C)	Th1 (°C)	Th2 (°C)	Q aktual (kW)	Q maks (kW)	U (W/m2 K)	LMTD	ε	Rf (m ² °C/W)
	11:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	12:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	13:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	14:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	15:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	16:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	17:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	18:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	19:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	20:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	21:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
	22:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336
23:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336	
0:00	27	29,8	45	40	186,743	672,275	162,096	14,058	0,278	0,00336	



Gambar 2 perbandingan laju perpindahan panas data komissioning tahun 2014 dan data operasional

Pada gambar 4.3, laju perpindahan panas data komisioning yang didapatkan sebesar 366,754 kW sedangkan rata-rata laju perpindahan panas data saat ini didapatkan sebesar 174,83 kW. Nilai efektivitas data operasional terbesar yaitu tanggal 12 Maret 2018 pada jam 19:00 sebesar 210,256 kW sedangkan terendah tanggal 13 Maret 2018 pada jam 17:00-20:00 sebesar 122,832 kW.



Gambar 3 perbandingan efektivitas data komissioning tahun 2014 dan data operasional

Efektivitas dipengaruhi oleh suhu masuk dan suhu keluar kedua fluida di dalam *oil cooler*. Pada gambar 4.4, efektivitas data komisioning yang didapatkan sebesar 0,462 sedangkan rata-rata efektivitas data operasional didapatkan sebesar 0,27. Nilai efektivitas data operasional terbesar yaitu tanggal 12 Maret 2018 pada jam 19:00 sebesar 0,314; sedangkan efektivitas data operasional terkecil tanggal 13 Maret 2018 pada jam 17:00-20:00 sebesar 0,22. Dari hasil efektivitas data operasional terendah mengalami penurunan sebesar 51,948%. Dugaan penyebab penurunan efektivitas pada alat penukar kalor salah satunya karena faktor pengotoran (*fouling factor*), faktor pengotoran di dalam *generator thrust bearing oil cooler*, maka selisih perbedaan suhu masuk dan keluar air pendingin (ΔT_c) serta selisih perbedaan suhu masuk dan suhu keluar oli pelumas (ΔT_h) mengalami penurunan. Dari data *comissioning* tahun 2014, selisih perbedaan suhu masuk dan keluar air pendingin adalah 5°C dan selisih perbedaan suhu masuk dan keluar oli pelumas adalah 8°C. Sedangkan pada data operasional didapatkan rerata selisih perbedaan suhu masuk dan keluar air pendingin adalah 2,875°C dan selisih perbedaan suhu masuk dan keluar oli pelumas adalah 4,5°C

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari analisis adalah :

1. Efektivitas data *comissioning* 2014 *generator thrust bearing oil cooler* Unit 7 PLTA Cirata adalah 0,462. Sedangkan untuk data operasional terbesar *generator thrust bearing oil cooler* Unit 7 PLTA Cirata pada tanggal 12 sampai 16 Maret 2018, efektivitas terbesar adalah 0,314 terjadi pada tanggal 12 Maret 2018 jam 19:00 serta efektivitas terkecil adalah 0,22 terjadi pada tanggal 13 Maret 2018 jam 17:00-20:00. Hasil tersebut berada di bawah data *comissioning* sehingga efektivitas mengalami penurunan. Penurunan efektivitas tersebut disebabkan faktor pengotoran di dalam *generator thrust bearing oil cooler* sebesar $0,0031 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$
2. Besar penurunan efektivitas *generator thrust bearing oil cooler* Unit 7 PLTA Cirata adalah 51,948% pada tanggal 13 Maret 2018

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Patel, P.S.U., "Study on Power Generation by Using Cross Flow Water Turbine," *IJRET : International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 04, no. 05, 2015.
- [2] A. J. G. Yunus A. Cengel. Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications Fifth Edition in SI Units, Singapore: MC Graw Hill Education.
- [3] Jack. P. Holman. Heat Transfer, Tenth Edition, New York: McGraw-Hill. 2010
- [4] Sudrajat, Jajat; Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell-Tube pada Sistem COG Booster di Integrated Steel Mill Krakatau; *Jurnal Teknk Mesin*, 2017, 174-181

Pengaruh *Plugging Tube* Terhadap Kinerja Kondensor ST1.0 Blok 1 PLTGU Muara Karang

Siti Khoiriyah¹; Fatkhiya Mukarromah; Elfi Nur Rohmah; Fachruddin
Program Studi Teknik Konversi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
¹Khoiriyahsiti41@gmail.com

Abstrak

Kondensor Blok 1 PLTGU Muara Karang dengan tipe kondensor permukaan, dan menggunakan air laut sebagai media pendingin, aliran silang dengan 1 fluida tercampur (uap) dan fluida lainnya tidak tercampur (air pendingin), air pendingin mengalir didalam tube dan uap diarahkan secara silang (bertabrakan). Tube kondensor seringkali mengalami gangguan, yaitu adanya kebocoran akibat korosi, bengkok dan penyok karena transfer panas yang tidak bagus, bahkan penyumbatan karena biota laut. Jika terjadi kebocoran pada tube, beresiko air laut yang ada di dalam tube akan mengkontaminasi air kondensat di tangki penampung air hasil dari kondensasi uap. Jika kandungan air terkontaminasi, maka akan merusak komponen khususnya komponen pada HRSG. Untuk mengatasi kebocoran yang terjadi pada tube maka dilakukan *Plugging*, yaitu penutupan sisi masuk dan keluar tube, agar air tidak melewati tube tersebut. Namun, akibat dari *Plugging* akan menyebabkan kinerja kondensor menurun karena luasan permukaan untuk melakukan transfer panas menjadi berkurang. Oleh karena itu, penting diketahui batasan seberapa banyak *Plugging* yang diizinkan pada tube kondensor agar kinerja kondensor tetap aman. Analisa kinerja kondensor ditujukan berdasarkan 3 aspek, yaitu efektivitas, kevakuman, dan kecepatan aliran air pendingin didalam tabung kondensor. Metode NTU digunakan untuk perhitungan efektivitas pada penelitian ini. Analisa terhadap hasil perhitungan didapatkan bahwa penurunan efektivitas terjadi secara linier, dimana setiap kenaikan 5% *Plugging* terjadi rata-rata penurunan 2,09% efektivitas pada beban 3 HRSG (± 150 MW), 2,43% penurunan efektivitas pada beban 2 HRSG (± 100 MW), dan 2,59% penurunan efektivitas pada beban 1 HRSG (± 50 MW). Analisis terhadap kevakuman didapat batasan *Plugging* sebesar 25,21%. Selain itu, berdasarkan perhitungan pengaruh *Plugging* terhadap kecepatan aliran air, didapat kesimpulan batas *Plugging* yang diizinkan adalah 15% pada saat beban 3 HRSG., dan 20% saat beban 2 dan 1 HRSG.

Kata kunci: Kondensor, Crossflow, Tube, Persentase *Plugging*, Penurunan Kinerja

Abstract

Condenser in Steam power plant Block 1 Muara Karang with Surface Condenser type and Water Cooled system, Crossflow with 1 mixed fluid (steam) and other fluid is unmixed (cooling water), water cooled flowing in the tube and steam crossflow directly. Condenser tube often have problems, that is leakage caused by corrosion, bend and dents due to poor heat transfer, even blockage due to marine biota. If there is a leak in the tube, that could cause the risk of sea water in the tube will contaminate the water condensate in hotwell, the result of condensation of the vapor. If contaminated water contents, will damage the components especially in HRSG. To overcome the leaks that occur on the tube then we have to do *Plugging*, that is the closure of the inlet side and outlet side tube, so that the water doesn't go through the tube. However, due to *Plugging*, the performance of the condenser is decreased because the surface area for heat transfer is reduced. Therefore, it is important for the amount possibility of *Plugging* on the condenser tube to keep the condenser performance safe. Condenser performance analysis based on 3 aspect, Effectiveness, Vacuum Pressure, and cooling water flow. The NTU method is used as the effectiveness formula in this study. From the calculations and analysis, it is found that the decrease in effectiveness occurs linearly, where each 5% increase in *Plugging* occurs average decrease about 2.09% effectiveness at load 3 HRSG (± 150 MW), 2.43% decrease effectiveness at load 2 HRSG (± 100 MW), and 2.59% decrease effectiveness at load 1 HRSG (± 50 MW). Analysis of vacuum condenser obtained *Plugging* limit is 25.21%. However, based on calculation of the effect of *Plugging* on the cooling water flow rate, it can be conclude the permitted *Plugging* is 15% at load 3 HRSG, and 20% at load 2 and 1 HRSG

Keywords: Condenser, Crossflow, Tube, Percentage of *Plugging*, Performance decrease

I. PENDAHULUAN

PLTGU Muara Karang merupakan pembangkit listrik dengan sistem *Combine Cycle* yaitu penggabungan antara PLTG dan PLTU. Pada PLTGU Blok 1 Muara Karang menggunakan sistem *3 on 1*, yaitu 3 unit PLTG, 3 unit HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) dan 1 unit PLTU [1].

Kondensor Blok 1 PLTGU Muara Karang bekerja menggunakan air laut sebagai fluida pendingin yang mendinginkan uap dari LP (*Low Pressure*) Turbin dengan proses yang disebut kondensasi. Uap hasil proses

kondensasi kemudian ditampung di *Hot Well*, kemudian air kondensat tersebut disalurkan menggunakan *Condensat Pump* agar dapat dimanfaatkan kembali di HRSG [2].

Sebagai peralatan yang menggunakan prinsip kerja *Heat Exchanger* (pertukaran panas), maka kondensator seringkali mengalami masalah, antara lain kebocoran akibat korosi pada *tube* kondensator maupun penyumbatan yang disebabkan oleh biota laut. Untuk mengurangi resiko tercemarnya air hasil kondensasi dengan air laut yang berada di dalam *tube*, maka dilakukanlah *Plugging*. *Plugging* merupakan penutupan atau penyumbatan sisi *inlet* dan *outlet* suatu *tube* agar air tidak dapat mengalir melewati *tube*. *Plugging* pada kondensator Blok 1 PLTGU Muara Karang menggunakan kayu pertinax.

Akibat dilakukannya *Plugging* tersebut, luas permukaan perpindahan panas pada kondensator menjadi berkurang sehingga memungkinkan uap keluar turbin masih ada yang tidak terkondensasi. Banyak sedikitnya *tube* yang di-*Plugging* berdampak pada seberapa luas permukaan perpindahan panas, yang pada akhirnya mempengaruhi besarnya transfer panas yang terjadi dalam kondensator. Jika jumlah *Plugging* pada kondensator terlalu banyak, maka akan ada kondisi dimana kondensator sudah tidak mampu lagi menjalankan fungsinya. Untuk menjaga hal tersebut, maka akan dibahas pengaruh *Plugging* pada *tube-tube* kondensator terhadap kinerja kondensator.

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah maksimal *Plugging* yang diperbolehkan pada *tube* kondensator Blok 1 PLTGU Muara Karang dengan menganalisa pengaruh *Plugging* terhadap kinerja kondensator berdasarkan 3 aspek yaitu efektivitas, tekanan vakum kondensator dan kecepatan aliran air pendingin.

II. METODE PENELITIAN

Tahap pertama dalam pengerjaan penelitian ini adalah identifikasi rumusan masalah. Pada tahap ini identifikasi masalah dilakukan dengan cara melihat kondisi operasi dan permasalahan yang ada dilapangan. Salah satu permasalahan yang ada pada Blok 1 PLTGU Muara Karang adalah beberapa *tube condenser* yang harus di-*Plugging* akibat adanya kebocoran atau kerusakan pada *tube* tersebut.

Setelah rumusan masalah didapat, peneliti melakukan studi literatur, dengan mencari dari berbagai sumber sebagai bahan acuan untuk menganalisis masalah yang sudah ditemukan serta sebagai panduan dalam perhitungan data. Dari tahapan studi literatur didapat parameter yang harus dicari, lalu kemudian mulai mengumpulkan data. Pengumpulan data dilakukan di PLTGU Muara Karang selama tanggal 2 - 19 April 2018. Data yang didapat dari Rendal operasi, Operator, dan bagian Performa Mesin Blok 1 PLTGU Muara Karang. Data tersebut ialah data desain kondensator, data manual dan data aktual kondensator, data commissioning kondensator, serta data *Plugging tube* kondensator pada tahun 2015 dan 2018. Data aktual kondensator yang diambil adalah data pada bulan Desember 2015-Desember 2016.

Dari data yang didapat lalu dilakukan perhitungan kinerja kondensator yang dipengaruhi oleh *Plugging* pada *tube*. Perhitungan dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*. Perhitungan pengaruh *Plugging* terhadap kinerja kondensator dilakukan pada 3 aspek, yaitu pengaruh *Plugging* terhadap efektivitas kondensator, terhadap kevakuman kondensator, serta terhadap kecepatan aliran air pendingin kondensator. Peneliti menggunakan metode NTU dalam menghitung efektivitas kondensator yang disesuaikan dengan tipe kondensator pada PLTGU Blok 1 Muara Karang, yaitu tipe *Crossflow*. Untuk kondensator dengan tipe *crossflow*, dengan fluida yang memiliki nilai *flow* besar diarahkan (di dalam *tube*) dan fluida lain yang memiliki nilai *flow* kecil tidak diarahkan (di luar *tube*), menggunakan rumus seperti berikut[3]:

- Perhitungan Efektivitas Kondensator

$$\varepsilon = 1 - \exp \{ -(1/C)[1 - \exp (-NC)] \} \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan:

$$C = \frac{(m \cdot Cp)_{min}}{(m \cdot Cp)_{max}} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$N = \frac{U_{dirty} \cdot A}{(m \cdot Cp)_{min}} \dots \dots \dots (2.3)$$

dan U_{dirty} diperoleh dengan [4]:

$$U_{dirty} = \frac{\text{Condensator Cleanliness Factor}}{U_{clean}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Pada kondensor ini, laju aliran massa (\dot{m}) pada uap jauh lebih kecil dibanding laju aliran massa (\dot{m}) pada air, maka :

$$N = \frac{U_{dirty} \cdot A}{(\dot{m} \cdot C_p)_{uap}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$C = \frac{(\dot{m} \cdot C_p)_{uap}}{(\dot{m} \cdot C_p)_{air}} \dots \dots \dots (2.6)$$

Pada uap, tidak diketahui berapa nilai kapasitas panas spesifiknya (C_p) karena uap tidak memiliki tekanan dan volume yang konstan seperti pada air, sehingga untuk mencari besarnya nilai $\dot{m} \cdot C_p$ pada uap digunakan persamaan :

$$\dot{m} \cdot C_p = \frac{\dot{m}_{uap} (h_1 - h_2)}{(T_{u1} - T_{u2})} \dots \dots \dots (2.7)$$

- ε = Efektivitas Kondensor
- \dot{m} = Laju aliran massa (kg/h)
- C_p = Kapasitas panas spesifik (kJ/kg.K)
- h_1 = *Enthalpy* uap masuk (kJ/kg.K)
- h_2 = *Enthalpy* uap keluar (kJ/kg.K)
- T_{u1} = Temperatur uap masuk (°C)
- T_{u2} = Temperatur uap keluar (°C)
- N = Nomor Transfer Unit
- U_{clean} = Koefisien Transfer Panas kondisi bersih (W/m².K)
- U_{dirty} = Koefisien Transfer Panas kondisi kotor (W/m².K)
- Condensor Cleanliness Factor = Nilai kebersihan kondensor (%)

- Perhitungan Hubungan *Plugging* dengan Tekanan
Kevakuman pada kondensor ST 1.0 PLTGU Muara Karang normalnya berada pada nilai ±690 mmHg (93,325 kPa), dan trip pada nilai 750 mmHg (100 kPa). Pada perhitungan ini, batasan nilai trip pada kondensor tersebut dijadikan variabel data dengan mengkonversi nilai tekanan menjadi *enthalpy* uap menggunakan tabel uap.

Jika nilai *enthalpy* telah diketahui, maka dimasukkan pada persamaan seperti berikut [3] :

$$\dot{Q} = \dot{m}_{uap} (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LM} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LM} = \dot{m}_{uap} (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$A = \frac{\dot{m}_{uap} (h_1 - h_2)}{U \cdot F \cdot \Delta T_{LM}} \dots \dots \dots (2.11)$$

Setelah diketahui nilai A atau luas penampang permukaan panas, maka dikonversi ke jumlah *Plugging* yang terjadi, dan didapatlah nilai seberapa banyak persen *Plugging* pada kondisi alarm dan trip tersebut.

- Q = Heat Rate (kJ)
- \dot{m}_{uap} = Laju aliran massa uap (kg/h)
- U = Koefisien Transfer Panas (W/m².K)
- A = Luas penampang penukar panas (m²)
- F = Faktor Koreksi
- h_1 = *Enthalpy* uap masuk (kJ/kg.K)
- h_2 = *Enthalpy* uap keluar (kJ/kg.K)
- T_{u1} = Temperatur uap masuk (°C)
- T_{u2} = Temperatur uap keluar (°C)
- T_{a1} = Temperatur air masuk (°C)
- T_{a2} = Temperatur air keluar (°C)
- $\Delta T_{LM} = \frac{(T_{u1} - T_{a2}) - (T_{u2} - T_{a1})}{\ln \frac{(T_{u1} - T_{a2})}{(T_{u2} - T_{a1})}}$

- Perhitungan *Plugging* Terhadap Kecepatan Aliran Air Pendingin
Besarnya kecilnya luasan perpindahan panas akan mempengaruhi kecepatan aliran fluida. Semakin banyak *tube* yang di-*plugging*, dengan \dot{m}_{air} yang tidak berubah secara signifikan maka akan tetap mempengaruhi kecepatan aliran air pendingin. Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v \dots \dots \dots (2.12)$$

Atau,

$$v = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} \dots \dots \dots (2.13)$$

Dengan:

- \dot{m} = laju massa air (kg/s)
- ρ = massa jenis air laut (kg/m³)
- A = Luasan *tube* (m²)
- v = kecepatan aliran air pendingin (m/s)

Hasil dari perhitungan menggunakan rumus selanjutnya dianalisa, sehingga didapatkan hasil penelitian yang diharapkan, yaitu dapat diketahui bagaimana pengaruh *Plugging tube* pada kondensor dan maksimal jumlah *Plugging* pada *tube* yang diizinkan agar kondensor masih dapat bekerja. Hasil dari analisis kemudian disimpulkan lalu didapatkan saran saran yang memungkinkan untuk disampaikan kepada pihak industri, serta dapat berguna bagi pembaca pada umumnya dan khususnya bagi penulis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

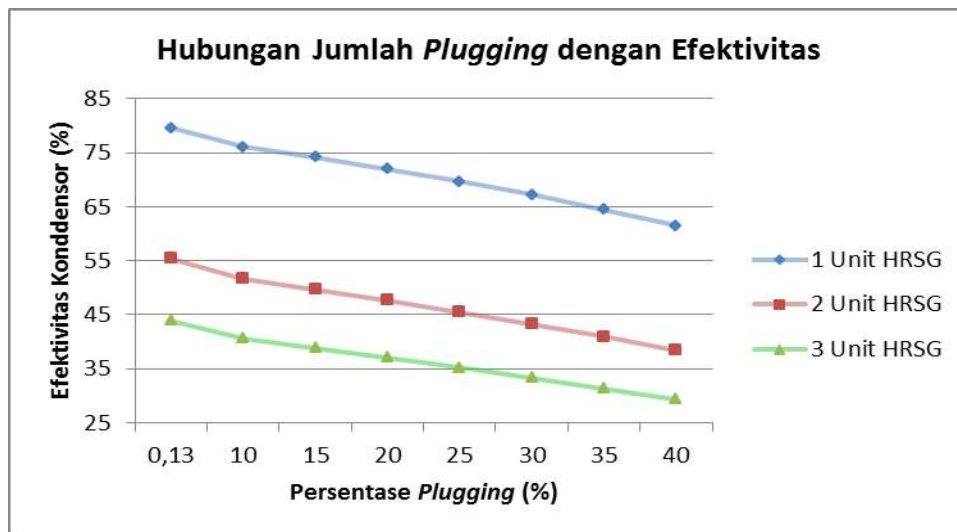
Data yang dibutuhkan untuk melakukan analisa pengaruh *Plugging tube* terhadap kondensor serta batasan jumlah *Plugging* maksimal yang diizinkan adalah data operasional pada Desember 2015 hingga Desember 2016. Pengambilan data dalam kurun waktu tersebut didasari oleh beberapa hal, yaitu karena pada bulan November 2015 dilakukan inspeksi serta *cleaning* pada kondensor, selain itu karena sejak tahun 2017 unit pembangkit bekerja hanya pada keadaan *peak load* atau hanya jika ada permintaan dari konsumen sehingga data operasional tidak terukur setiap hari dan tidak cukup digunakan untuk sampel data.

1. Pengaruh *Plugging Tube* terhadap Efektivitas Kondensor

Pada perhitungan ini sampel data yang diambil hanya data pada tiga hari yang memiliki beban berbeda yaitu pada tanggal 12, 13, dan 14 Desember 2016. Kondisi tersebut dapat dibedakan oleh adanya kondisi pembebanan yang berbeda yaitu saat 1 unit HRSG bekerja (43,59 MW pada 12/12/16), 2 unit HRSG bekerja (102,82 MW pada 13/12/16), dan 3 unit HRSG bekerja (162,15 MW pada 14/12/16). Dalam perhitungannya, jumlah *Plugging* akan divariasikan dari 0,13% (saat ini) hingga 40% dari total *tube* yang ada (13950 *tube*). Jumlah *Plugging* ini akan dikonversi ke dalam bentuk luasan permukaan perpindahan panas, kemudian dari luasan ini akan dihitung berapa efektivitasnya, sehingga didapatlah hasil perhitungan pengaruh jumlah *Plugging tube* terhadap efektivitas kondensor yang ditunjukkan oleh tabel dan grafik berikut :

Tabel 1. Hasil Perhitungan Pengaruh *Plugging Tube* Kondensor terhadap Efektivitas

Persentase <i>Plugging</i>	Jumlah <i>Tube</i>	1 Unit HRSG			2 Unit HRSG			3 Unit HRSG		
		C	N	ε	C	N	ε	C	N	ε
0,13%	13932	0,282	1,59	79,66%	0,538	0,81	55,48%	0,699	0,58	43,91%
10%	12555		1,43	76,15%		0,72	51,73%		0,52	40,57%
15%	11857,5		1,35	74,17%		0,69	49,73%		0,49	38,83%
20%	11160		1,27	72,03%		0,65	47,66%		0,46	37,04%
25%	10462,5		1,19	69,71%		0,61	45,50%		0,43	35,19%
30%	9765		1,11	67,20%		0,56	43,25%		0,41	33,29%
35%	9067,5		1,04	64,48%		0,53	40,90%		0,38	31,33%
40%	8370		0,96	61,54%		0,49	38,46%		0,35	29,32%



Gambar 1. Grafik Perbandingan Efektivitas Kondensor terhadap Persentase *Plugging*

Gambar 1 menunjukkan efektivitas tertinggi dicapai pada saat hanya 1 unit HRSG bekerja (43,59 MW pada 12/12/16) dimana pada keadaan saat 0,13% *Plugging* (kondisi *real* saat itu) terhitung efektivitas kondensor sebesar 79,66%, dan efektivitas terendah terjadi saat 3 unit HRSG bekerja (162,15 MW pada 14/12/16) dengan efektivitas pada keadaan yang sama terhitung sebesar 43,91%. Hal ini terjadi karena laju aliran massa uap pada kondisi 1 unit HRSG bekerja 1/3 lebih kecil dibanding saat 3 unit HRSG bekerja. Semakin sedikit jumlah uap yang mengalir masuk kondensor, maka semakin mudah seluruh uap dapat terkondensasi.

Adapun hubungan antara persentase *Plugging* dengan efektivitas berbanding terbalik, semakin besar jumlah *Plugging* yang terjadi maka efektivitas kondensor semakin rendah. Ini disebabkan oleh berkurangnya luas permukaan perpindahan panas didalam kondensor. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan Persamaan 2.2, dimana luas penampang berbanding lurus dengan N , dan melalui Persamaan 2.1 kita tahu bahwa N merupakan faktor eksponensial yang mengurangi nilai 1 efektivitas, sehingga N berbanding lurus dengan efektivitas dimana semakin tinggi nilai N maka efektivitaspun akan semakin tinggi.

2. Pengaruh *Plugging Tube* terhadap Kevakuman Kondensor

Tekanan kondensor haruslah dipertahankan tetap dibawah tekanan atmosfer. Pada perhitungan ini, batasan nilai trip pada kondensor tersebut dijadikan variabel data dengan mengkonversi nilai tekanan dan temperatur maksimal menjadi *enthalpy* kondensat keluar kondensor (h_2).

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jumlah *Plugging Tube* pada Kondisi Kondensor Normal dan Trip

Tekanan Kondensor (kPa)	h_1 (kJ/kg.K)	h_2 (kJ/kg.K)	ΔT LMTD	Persentase <i>Plugging</i>	Jumlah <i>Plugging Tube</i>
23/12/2015	93,79	176,32	12,85	0,12%	17
Trip	100	205,15	16,96	25,21%	3516

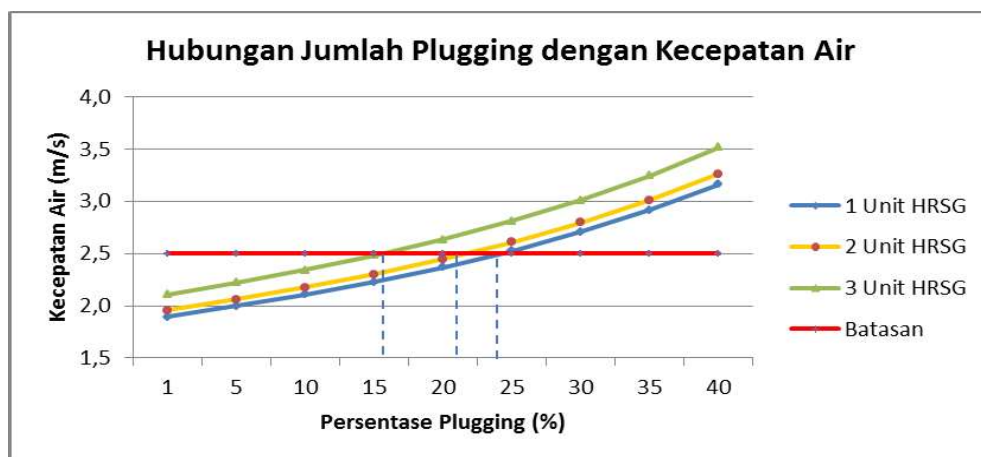
Pada kondisi trip dengan tekanan diketahui sebesar 100 kpa, dan temperatur 49°C, diperoleh persentase *Plugging* sebesar 25,21% atau sejumlah 3.516 *tube* dari total 13.950 *tube*. Artinya, jika sudah dilakukan *Plugging* mendekati jumlah 3.516 *tube* maka kondensor sudah tidak aman dan harus segera dilakukan penggantian.

3. Pengaruh *Plugging Tube* Terhadap Kecepatan Air Pendingin

Kecepatan maksimal air pendingin pada sebuah *heat exchanger* adalah 2,5 m/s dan *tube* dengan bahan titanium akan mulai mengalami korosi pada kecepatan air 7 m/s. Maka kondensor seharusnya bekerja pada kecepatan air pendingin dibawah batasan tersebut. Untuk menghitung kecepatan air pendingin, sampel data yang diambil adalah pada saat 1 unit HRSG bekerja (43,59 MW pada 12/12/16), 2 unit HRSG bekerja (102,82 MW pada 13/12/16), dan 3 unit HRSG bekerja (162,15 MW pada 14/12/16). Luas penampang akan divariasikan sesuai dengan persentase jumlah *Plugging*.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Kecepatan Air Pendingin Akibat *Plugging Tube* Condenser

Persentase <i>Plugging</i>	Surface (m ²)	ρ (kg/m ³)	1 Unit HRSG		2 Unit HRSG		3 Unit HRSG	
			\dot{m} (kg/s)	v (m/s)	\dot{m} (kg/s)	v (m/s)	\dot{m} (kg/s)	v (m/s)
1%	6,68	1023,34	12959,31					
5%	6,346							
10%	6,012							
15%	5,678							
20%	5,344					13378,6		14418,41
25%	5,01							
30%	4,676							
35%	4,342							
40%	4,008							



Gambar 3. Grafik Hubungan Kecepatan Air Pendingin dengan *Plugging Tube* Condenser

Pada tabel 3 diketahui pada semua kondisi beban, kecepatan air berada di bawah 2,5 m/s terjadi pada 15% jumlah *Plugging*. Karena kecepatan air saat 20% jumlah *Plugging* sudah mencapai 2,64 m/s pada kondisi beban 3 unit HRSG bekerja, sehingga kondisi ini sudah tidak aman bagi kondensor. Dianggap tidak aman karena jika air pendingin bergerak terlampaui cepat, maka proses penerimaan panas tidak akan berlangsung baik, air tidak dapat maksimal menerima panas dan uap tidak dapat melepaskan panasnya sehingga uap mungkin akan gagal terkondensasi. Adapun pada beban 1 dan 2 unit HRSG bekerja, kecepatan air akan melebihi batas 2,5 m/s saat jumlah *Plugging* melebihi 20%. Dengan begitu, berdasarkan hubungan *Plugging* dengan kecepatan air, disimpulkan *Plugging* maksimum yang diijinkan untuk kondensor ini adalah 15%, atau 3.487 *tube* dari total 13.950 *tube* yang ada.

Adapun kecepatan maksimal yang diizinkan bagi material titanium adalah 7 m/s. Hasil perhitungan pada tabel 3 menunjukkan bahwa saat kondisi *Plugging* 1% hingga 40% belum tercapai nilai tersebut. Kecepatan maksimal berdasarkan perhitungan terjadi pada kondisi *Plugging* 40% pada beban terbesar dengan 3,515 m/s. Hal ini menandakan bahwa meskipun *Plugging* telah mencapai 40% dari total *tube*, atau luasan berkurang menjadi 60% dari total luasan seharusnya, *tube* tidak akan mengalami korosi.

IV. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dalam analisa ini diantaranya adalah :

- Efektivitas kondensor akan turun seiring dengan bertambahnya *tube* yang di-*Plugging*. Penurunan efektivitas terjadi secara linier, dengan setiap kenaikan 5% *Plugging* terjadi rata-rata penurunan efektivitas sebesar 2,09% pada beban 3 HRSG (± 150 MW), 2,43% penurunan efektivitas pada beban 2 HRSG (± 100 MW), dan 2,59% penurunan efektivitas pada beban 1 HRSG (± 50 MW).
- Pada perhitungan pengaruh *Plugging* terhadap kevakuman kondensor, tekanan kondensor akan mencapai batas alarm dan trip saat terjadi *Plugging* sebesar 25,21%, atau 3.516 *tube* dari total 13.950 *tube* yang ada.

- c. Adapun pada perhitungan pengaruh *Plugging* terhadap kecepatan aliran air pendingin diperoleh batasan *Plugging* sebesar 15% untuk beban 3 unit HRSG, dan 20% untuk beban 1 dan 2 unit HRSG.
- d. Batasan *Plugging* sebesar 15% pada perhitungan pengaruh *Plugging* terhadap kecepatan air pendingin pada beban 3 unit HRSG merupakan batasan terendah yang diperoleh dari seluruh hasil perhitungan, maka batasan inilah yang Peneliti jadikan rekomendasi sebagai batasan maksimum *Plugging tube* yang diizinkan, dimana jika jumlah *tube* yang di-*Plugging* telah mendekati 15% atau 3.487 *tube* dari 13.950 *tube* yang ada, maka kondensor ini harus diganti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] MM, Pengoperasian PLTGU, PLN Corporate University
- [2] *Sumitomo Corporation, Operation And Maintenance Instruction For Muara Karang Combined Cycle Power Plant (Phase II) "Surface Condensor, CCWW HE, Rubber Inspection Joints"*. Tokyo : PT. PLN Persero
- [3] David P Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine Frank P. Incropera, *Foundation of Heat Transfer*, 6th ed., Wiley, Ed. Singapore, 2013.
- [4] Simarpreet Singh, *Pre-determination of the Fouling and Cleanliness Factor of the Heat Exchanger*, Vol. 2, India : *M-Tech Thermal Engineering*, BCET Gurdaspur, 2012

RANCANGAN MANHOLE HRSG DI PT. INDONESIA POWER UPJP GRATI

Sophian Hakim Wirajaya¹, Rosidi²,

¹Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424

Telp : +6221 7270044 Fax : (021)7270034

E-mail : sophianhakim.w@gmail.com

²Dosen Program Studi Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) adalah peralatan utama dari Pusat Listrik Tenaga Gas-Uap (PLTGU) yang berfungsi untuk memanfaatkan energi panas sisa gas buang dari turbin gas untuk memanaskan air menjadi uap, kemudian uap tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin uap. HRSG UPJP Grati telah beroperasi selama 21 tahun (sejak 1997) dan sering dilakukan minor repair karena kerusakan yang terjadi seperti kebocoran pada superheate tube, preheater, perbaikan casing & ducting termasuk insulasi panas. Selain karena umur atau life time, pola operasi PLTGU Grati sebagai load follower sehingga menuntut GT dan HRSG beroperasi dalam kondisi partial load dan bahkan mengharuskan start-stop jika pasokan gas mengalami kekurangan. Pengoperasian dengan kondisi partial load dan start-stop menyebabkan beban pada HRSG sangat berfluktuatif. Akibat pola operasi tersebut, mengakibatkan terjadinya fatigue stress dan deformasi pada pressure part dan struktur mekanis HRSG serta kebocoran pada tube-tube HRSG. Untuk menanggulangi permasalahan tersebut, maka dibuatlah rancangan manhole HRSG yang lebih mudah sehingga dapat mengurangi waktu proses pemeliharaan, karena apabila perawatan atau perbaikan dilakukan dengan waktu yang lama maka menyebabkan kerusakan menyebar ke bagian-bagian yang lain serta membuat kerugian yang lebih besar karena tidak berfungsinya HRSG semakin lama. Metodologi yang digunakan ialah mendesain manhole HRSG menggunakan software Solidworks yang Selanjutnya dilakukan perhitungan teknik meliputi perhitungan gaya, kekuatan rangka, material, kemudian dilakukan simulasi analisis. Hasil perencanaan yang diperoleh untuk rancangan manhole HRSG pada PLTGU Grati adalah sebagai berikut: ukuran manhole 800x800mm, material manhole menggunakan stainless steel 304, bahan isolator manhole menggunakan Rockwool. Dengan dirancangnya manhole tersebut, diharapkan dapat mengurangi waktu proses perbaikan serta meminimalisir adanya kebocoran gas.

Kata Kunci: HRSG, lubang laluan HRSG, Baja tahan karat 304.

Abstract

Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is the main equipment of the Steam-Electric Power Plant (PLTGU) which serves to utilize the exhaust heat energy from the gas turbine to heat the water into steam, then steam is used to drive the steam turbine. HRSG UP Grati has been operating for 21 years (since 1997) and has been frequently done minor repair due to damage such as superheater tube leakage, preheater, casing & ducting repair including heat insulation. In addition to its age or life time, the operating pattern of PLTGU Grati as a load follower requires that GT and HRSG operate in partial load conditions and even require start-stop if the gas supply is deficient. Operation with partial load and start-stop conditions causes the load on HRSG to be highly volatile. As a result of these operating patterns, resulting in the occurrence of fatigue stress and deformation in pressure parts and mechanical structure of HRSG and leaks on HRSG tubes. To overcome these problems, the HRSG manhole design is made easier and can shorten the maintenance process time, because if the maintenance or repair is done with a long time then cause damage to spread to other parts and make greater losses due to malfunction HRSG. The methodology used is designing HRSG manhole using Solidworks software. Next, the calculation of technique includes calculation of force, frame strength, material, then analyzed. The result of planning obtained for HRSG manhole design at PLTGU Grati is as follows: manhole size 800x800mm, manhole material using stainless steel 304, manhole isolator material using Rockwool. With the manhole designed, it is expected to speed up the process of repair and minimize the gas leak.

Keywords: HRSG, Access Door Manhole, Stainless Steel 304.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pusat Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) merupakan gabungan dari dua pusat tenaga listrik yaitu Pusat Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTGU memiliki dua jenis sistem pengoperasian, yaitu: sistem operasi *open cycle* dan sistem operasi *combined cycle*. Sistem operasi *open cycle* merupakan sistem operasi dimana hanya generator pada turbin gas yang menghasilkan listrik dan gas buang dari turbin gas dibuang ke atmosfer melalui *bypass stack*. Sedangkan sistem operasi *combined cycle* merupakan sistem pengoperasian yang memanfaatkan gas buang dari turbin gas untuk memanaskan air sebagai fluida kerja turbin uap yang terjadi di dalam HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*).

Salah satu permasalahan yang terdapat di dalam HRSG adalah dampak *thermal stress* terhadap komponen – komponen yang terdapat di dalam HRSG yang dapat menyebabkan kebocoran pada *tube-tube* HRSG. Saat terjadinya kerusakan maka operator akan segera melakukan *shutdown* (menonaktifkan) HRSG untuk menghindari kerusakan menyebar ke bagian yang lain. Akibat terhentinya HRSG, akan mengganggu proses produksi dan *supply* listrik akan terhenti akibat proses perbaikan komponen yang rusak, sehingga biaya operasional perusahaan meningkat, mengakibatkan penurunan efisiensi, serta kerugian besar yang didapatkan perusahaan akibat lamanya waktu perbaikan, oleh karena itu untuk mengurangi waktu perbaikan saat terjadinya kebocoran pada komponen HRSG, serta mempermudah dan mempercepat pekerja untuk mengakses *manhole* HRSG, maka diperlukan adanya *access door* HRSG yang lebih praktis namun tidak mengurangi kekuatan *manhole* tersebut dengan memilih material yang tepat. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk merancang *access door* baru yang lebih praktis kemudian menganalisis dan mensimulasikan distribusi *thermal* pada sisi dalam *manhole* dengan menggunakan *software Solidworks*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang *access door* HRSG agar dapat mengurangi waktu perbaikan?
- b. Bagaimana merancang *access door* HRSG yang aman dan praktis?

1.3 Tujuan

Ada beberapa tujuan pada penelitian ini, yaitu:

- a. Untuk menghitung *downtime* (kerugian waktu akibat tidak efektifnya untuk mengakses *manhole access door* HRSG) dan meningkatkan keamanan personil dari resiko kebocoran gas.
- b. Untuk menghitung kerugian yang didapat perusahaan akibat tidak beroperasinya HRSG.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada HRSG terdapat *access door* berupa manhole yang digunakan personil di lapangan untuk melakukan pemeliharaan atau perbaikan saat terjadinya kebocoran.



Gambar 1. *access door manhole* pada HRSG PLTGU Grati:

HRSG (*Heat Recovery Steam Generator*) adalah salah satu komponen dari sistem PLTGU yang berfungsi untuk memanfaatkan gas panas dari turbin gas untuk menghasilkan uap yang memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi, kemudian uap tersebut digunakan sebagai fluida kerja dari turbin uap. HRSG yang digunakan di PT. Indonesia Power UPJP Grati adalah HRSG jenis *unfired heat recovery boiler*, yang memiliki sistem sirkulasi paksa, dan memiliki dual *pressure*. Komponen-komponen dari HRSG PLTGU UPJP Grati adalah:

1. LP section : LP *economizer* dengan *condensate recirculating pumps*, LP *drum* dengan *daerator*, LP *evaporator* dengan LP *circulating pumps*, dan LP *Superheater*.
2. HP section: HP *economizer* dengan HP *transfer pumps*, HP *drum*, HP *evaporator* dengan HP *circulating pumps*, HP *superheater* 1 dan 2, dan *desuperheater*.
3. Blow down *equipment*.

2.2. Konsep Konstruksi Mesin

Tabel 1. Bagian-Bagian Konstruksi

Bagian Konstruksi	Rencana
a. <i>Jenis Material</i>	<i>Stainless Steel 304</i>
b. <i>Jenis Las</i>	<i>Las MIG</i>
c. <i>Insulasi</i>	<i>Rockwool</i>

A. Stainless Steel 304

Stainless steel merupakan baja paduan yang mengandung sedikitnya 11,5% krom berdasar beratnya. Ada berbagai macam jenis *stainless steel*. Tipe 304 adalah tipe yang paling umum dari *grade austenitic*. Tipe 304 memiliki komposisi 18/8, yang artinya: kandungan kromium sebesar 18% sedangkan kandungan nikel sebesar 8%. *Stainless steel* tipe 304 merupakan jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling baik diantara *stainless steel* lainnya dikarenakan komposisi kimia, kekuatan mekanik, kemampuan las dan ketahanan korosinya sangat baik dengan harga yang *relative* terjangkau .

Composition Specification (%)										
Grade		C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	Ni	N
304	min.	-	-	-	-	-	17.5	-	8.0	-
	max.	0.07	2.0	0.75	0.045	0.030	19.5	-	10.5	0.10
304L	min.	-	-	-	-	-	17.5	-	8.0	-
	max.	0.030	2.0	0.75	0.045	0.030	19.5	-	12.0	0.10
304H	min.	0.04	-	-	-	-	18.0	-	8.0	-
	max.	0.10	2.0	0.75	0.045	0.030	20.0	-	10.5	-

Mechanical Property Specification (single values are minima except as noted)						
Grade	Tensile Strength (MPa) min	Yield Strength 0.2% Proof (MPa) min	Elongation (% in 50mm) min	Hardness		
				Rockwell B (HR B) max	Brinell (HB) max	
304	515	205	40	92	201	
304L	485	170	40	92	201	
304H	515	205	40	92	201	

304H also has a requirement for a grain size of ASTM No 7 or coarser.

Physical Properties (typical values in the annealed condition)									
Grade	Density (kg/m ³)	Elastic Modulus (GPa)	Mean Coefficient of Thermal Expansion			Thermal Conductivity		Specific Heat (J/kg.K)	Electrical Resistivity (nΩ.m)
			0-100°C (μm/m/°C)	0-315°C (μm/m/°C)	0-538°C (μm/m/°C)	at 100°C (W/m.K)	at 500°C (W/m.K)		
304/L/H	7900	193	17.2	17.8	18.4	16.3	21.5	500	720

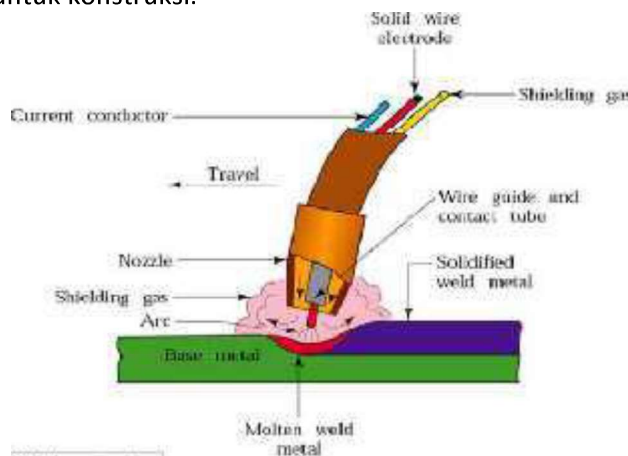
Gambar 2. Spesifikasi *Stainless Steel* 304.

B. Jenis Las

Las MIG adalah pengelasan dengan menggunakan gas nyala yang dihasilkan berasal dari busur nyala listrik, dipakai sebagai pencair metal yang dilas dan metal penambah. Disebut juga dengan **Solid Wire**. Las MIG biasanya banyak digunakan untuk pengelasan baja-baja yang memiliki kualitas yang baik, seperti baja yang memiliki daya tahan karat yang sangat tinggi, maupun baja-baja yang sangat kuat ataupun logam-logam yang tidak bisa dilas menggunakan teknik las manapun selain las MIG. Las MIG juga sering digunakan secara otomatis maupun secara semi-otomatis yang memiliki arus searah polaritas balik yang menggunakan kawat elektroda berdiameter antara 1,2mm sampai 24mm. Karena perkembangan teknologi semakin canggih belakangan ini banyak menggunakan kawat elektroda yang memiliki diameter 3,2mm sampai 6,4mm yang digunakan untuk pengelasan aluminium yang sangat tebal, contohnya tangki penyimpanan gas alam cair. Las MIG ini juga digunakan yang memiliki kecepatan kawat elektroda yang tetap dengan cara pengumpan tarik dorong.

las MIG (*Metal Inert Gas*) sesuai dengan kebutuhan tersebut. Hal ini karena las MIG memiliki kelebihan (Sumber: <https://belajarmesinbubutnc.blogspot.com/2016/03/proses-las-gmaw-gas-metal-arc-welding.html>), sebagai berikut;

- lebih cepat dibandingkan dengan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dan menghasilkan hasil yang lebih tahan lama,
- tidak menghasilkan *slag* atau terak,
- sangat efisien dan proses pengerjaan yang cepat,
- las MIG cocok untuk konstruksi.



Gambar 3. Las Mig

(Sumber: <https://belajarmesinbubutnc.blogspot.com/2016/03/proses-las-gmaw-gas-metal-arc-welding.html>)

Tegangan pada sambungan las sulit ditentukan karena variabel dan tidak dapat diprediksi. Parameter seperti homogenitas logam las, tekanan termal pada lasan, perubahan fisik, sifat karena tingkat pendinginan yang tinggi dan lain-lain. Maka tegangannya diperoleh berdasarkan asumsi berikut:

- beban didistribusikan secara seragam sepanjang seluruh lasan, dan
- *stress* tersebar secara merata di atas bagian efektifnya.

Beban yang diberikan pada las menghasilkan konsentrasi tegangan pada persimpangan lasan dan logam induk. Bila bagian-bagiannya mengalami beban *fatigue*, faktor konsentrasi tegangan seperti yang diberikan pada tabel berikut harus diperhitungkan:

Tabel 2. faktor konsentrasi tegangan

	<i>Type of Joint</i>	<i>Stress concentration factor</i>
1	Reinforced butt weld	1.2
2	Toe of transverse fillet welds	1.5
3	End of parallel fillet weld	2.7
4	T-butt joint with sharp corner	2.0

(Khurmi&Gupta:2005,vol 354)

C. Insulasi *Rockwool*

Rockwool merupakan material bahan bangunan yang digunakan sebagai bahan untuk isolasi ruangan atau bangunan baik itu rumah tinggal atau bangunan komersial dari suara bising. Tidak hanya digunakan sebagai material yang digunakan untuk isolasi suara, *rockwool* juga dapat mengisolasi panas dan lembab pada ruangan. *Rockwool* ini digunakan pada bagian terdalam pada *access door* HRSG. Penggunaan bahan *rockwool* sendiri tidak hanya dapat diaplikasikan saja pada bangunan, melainkan juga dapat dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan diantaranya:

- *Rockwool* dapat digunakan sebagai pelindung pipa agar tidak mudah berkarat.
- Digunakan sebagai peredam suara dan peredam panas pada bangunan.
- Kinerja Termal yang Bagus
- Tidak Mudah Terbakar

2.3 Perancangan

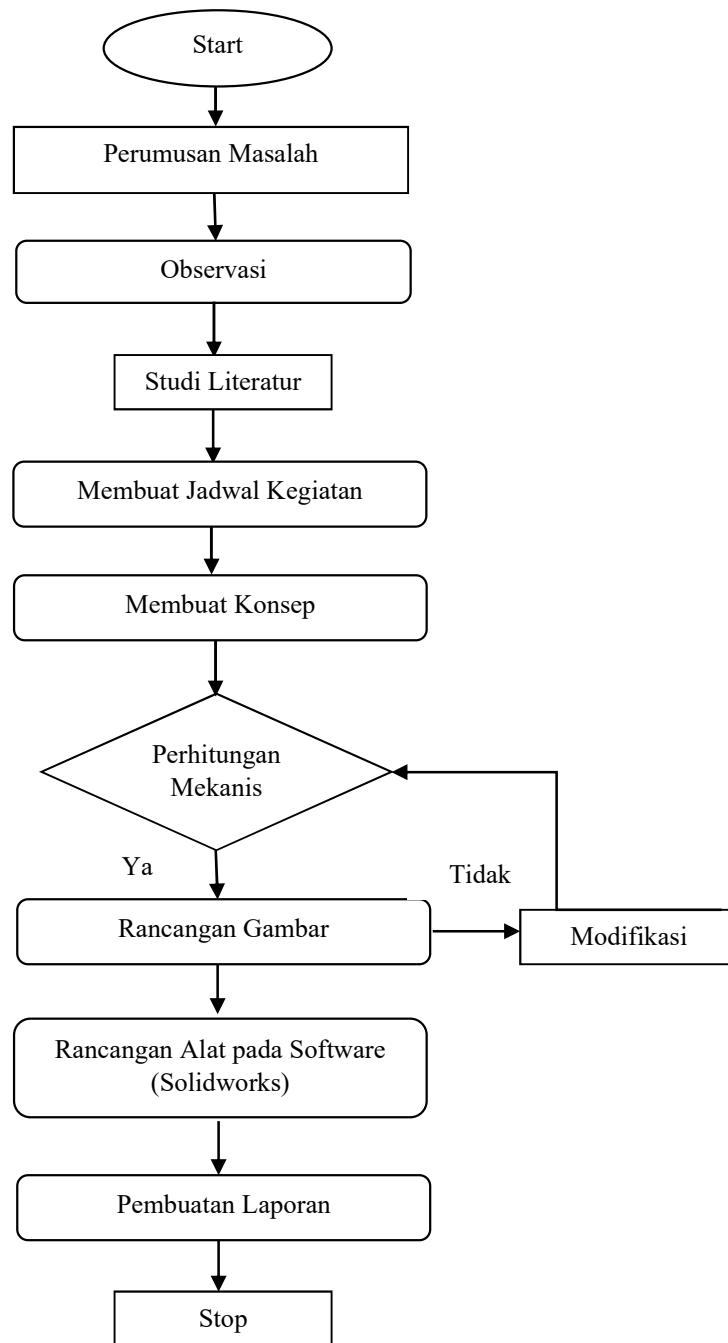
Merancang merupakan tahapan melakukan *draft* rancangan dan spesifikasi beberapa *part* kemudian diberikan optimasi dan revisi rancangan jika memang diperlukan. Dalam hal ini, menggunakan *software Solidworks 2016* dalam pembuatan *draft* rancangan 3D dan 2D *Modelling*. Selain itu, *software Excel 2016* diperlukan untuk mengkalkulasi keuntungan yang didapat serta harga pokok produksi, mulai dari material *cost*, *operator*, dan variabel *cost* yang lain.

2.4 Fabrikasi/Manufaktur

Tahapan penyelesaian terakhir yang harus dilakukan adalah menyusun gambar kerja/*floor drawing* hasil pengerjaan dari *software*, yang nantinya akan digunakan sebagai informasi selama proses manufaktur. Tahapan ini tidak dijelaskan.

2.5 Diagram Alir

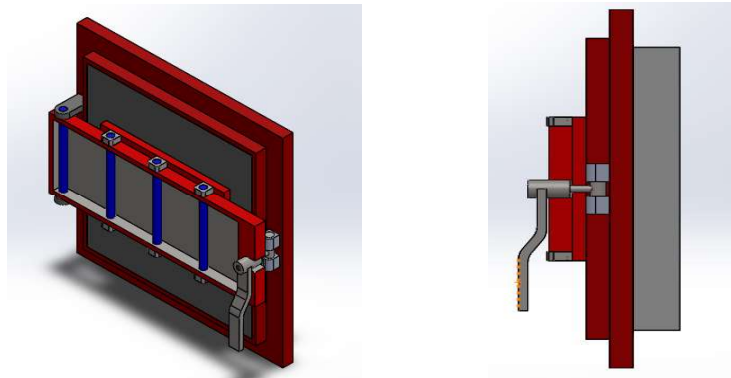
Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4. Diagram Alir



Gambar 4. Diagram Alir

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Access Door HRSG



Gambar 5. 3D Access Door HRSG

Tabel 3. Konsep Rancangan

Material	Stainless Steel 304
Insulasi	Rockwool
Panjang	800 [mm]
Lebar	800 [mm]
Aktuator	Lever

3.2 Pengaruh Panas

Dalam penggunaan *manhole* HRSG yang selalu terjadi kontak langsung terhadap panas yang merambat secara konduksi, maka diperlukan bahan yang dapat menangkap panas agar tidak terjadi kontak panas dengan pekerja, maka Persamaan yang digunakan.

$$Q/t = kA (T_2 - T_1)/x \quad \text{[Persamaan 1]}$$

3.3 Kekuatan pada Pengelasan

Kekuatan las pada rancang bangun diperlukan untuk membuat *stopper* pada *middle plate*, maka Persamaan 2 yang digunakan.

$$\sigma_t = \frac{3t_1 P e}{l \cdot t \cdot (3t_1^2 - 6t_1 t + 4t^2)} \quad \text{[Persamaan 2]}$$

Dengan :

- σ_t :kekuatan pada las,
- t_1 :tebal dari benda pertama,
- P :gaya yang bekerja,
- e :ketinggian las pada benda,
- t :tebal pada benda kedua, dan
- l :panjang lasan pada benda.

Sedangkan pada gagang untuk pemegang menggunakan perhitungan lasan dengan Persamaan 3.

$$\sigma_t = \frac{0,345P}{t \cdot l} \quad \text{[Persamaan 3]}$$

Dengan:

- σ_t :kekuatan pada las,

- P : gaya yang bekerja,
t : tebal pada benda kedua, dan
l : panjang lasan pada benda.

3.4 Keuntungan Yang Didapat

Pengecekan kebocoran pada HRSG akan membuat produksi listrik menjadi berhenti, di PLTGU Grati saat adanya perbaikan kebocoran *tube* HRSG memerlukan waktu 1-5 jam tergantung jenis kerusakan. Di bawah ini adalah data kerugian akibat adanya pengecekan kebocoran HRSG.

- Kerugian Akibat Shutdown HRSG

Tabel 4. Analisis Kerugian.

Analisis Kehilangan Pendapatan		
FD 1 ST 1.0 Gangguan Exh. Damper (3 April 2017)		
Nama Unit	: PLTGU Grati Blok I	
Nomor Unit	: ST 1.0	
DTP	: 155.48 MW	
Merk/Tipe	: MITSUBISHI MW 701D	
Tahun Operasi	: Th. 1997	
PLTGU BLOK I		Satuan
Produksi		
MW Derating / Gangguan GT	MW	-
Mulai	mm/dd/yyyy	-
Selesai	mm/dd/yyyy	-
Lama gangguan GT	Jam	-
MW Derating / Gangguan ST	MW	47,48
Mulai	mm/dd/yyyy	03/04/2017 12:15
Selesai	mm/dd/yyyy	03/04/2017 16:05
Lama Gangguan ST 1.0	Jam	3,83
CF (asumsi)	%	100,00
Kehilangan kesempatan Produksi	KWh	182.006,67
HPP (Komp C & D) Block 1 (s/d Bln Desember 2016)	Rp/KWh	786,650
Kehilangan Pendapatan dari Produksi	Rp	143.175.544,34

- **Keuntungan Yang diperoleh**

Tabel 5. Analisis Keuntungan

Analisis Kehilangan Pendapatan FD 1 ST 1.0 Gangguan Exh. Damper (3 April 2017)		
Nama Unit	: PLTGU Grati Blok I	
Nomor Unit	: ST 1.0	
DTP	: 155.48 MW	
Merk/Tipe	: MITSUBISHI MW 701D	
Tahun Operasi	: Th. 1997	
PLTGU BLOK I	Satuan	
Produksi		
MW Derating / Gangguan GT	MW	-
Mulai	mm/dd/yyyy	-
Selesai	mm/dd/yyyy	-
Lama gangguan GT	Jam	-
MW Derating / Gangguan ST	MW	47,48
Mulai	mm/dd/yyyy	03/04/2017 12:15
Selesai	mm/dd/yyyy	03/04/2017 15:50
Lama Gangguan ST 1.0	Jam	3,58
CF (asumsi)	%	100,00
Kehilangan kesempatan Produksi	KWh	170.136,67
HPP (Komp C & D) Block 1 (s/d Bln Desember 2016)	Rp/KWh	786,650
Kehilangan Pendapatan dari Produksi	Rp	133.838.008,83

Data di atas diambil berdasarkan kerugian akibat gangguan pada HRSG tahun 2017 yang menghabiskan waktu sebanyak 3,8 jam, derating sebesar 47,48 MW sehingga perusahaan akan mendapatkan kerugian sebesar Rp143.175.544 Dengan menggunakan *design manhole* ini maka proses pemeliharaan atau perbaikan dapat berkurang sebesar 15 menit dengan *derating* yang sama.

Sehingga akan didapatkan keuntungan sebesar $Rp143.175.544 - Rp133.838.008 = Rp9.337.536$.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan pada karya tulis ini, dapat disimpulkan bahwa rancangan *manhole access door* untuk HRSG layak dikonstruksikan.

- Dengan menggunakan *Design manhole* ini dapat mengurangi waktu proses perbaikan sebesar 15 menit, dan mengurangi jumlah kerugian yang didapat oleh perusahaan.
- Pengurangan jumlah tenaga kerja untuk mengakses atau membuka manhole.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusunan *full paper* seminar nasional ini mungkin tidak akan terselesaikan tanpa ada bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, sepatutnya penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

- PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan kegiatan kerja praktik.
- Bapak Rosidi, S.T, selaku dosen pembimbing OJT.
- Ibu Chandra, M.Si., sebagai Ketua Prodi D3 Teknik Mesin.

- d. Teman-teman D3 Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta 2015 yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan *full paper* seminar nasional ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Khurmi, R.S. dan J.K. Gupta. 2005. "A Text Book of Machine Design". New Delhi : Eurasia Publishing House Limited.
- [2]. Robert C Swanekamp. 2006. "The HRSG Users Handbook". United States : Sons Company
- [3]. Sularso, Kiyokatsu Suga. 2004. "Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin". Jakarta : PT Pradnya Paramita
- [4]. L Mott, Robert. 2004. "Elemen-elemen Mesin dalam Perancangan Mekanis". Yogyakarta: Andi Yogyakarta
- [5]. Ronald S. Graves and Robert R. Zarr.1997." Insulation Materials:Testing and Applications,Third Volume". Canada: ASTM Committee C-16
- [6]. <https://www.indotara.co.id/definisi-pengelasan-menggunakan-las-mig&id=213.html>
- [7]. www.atlassteels.com.au, Stainless steel datasheet august 2013

ANALISIS DAMPAK OVERHAUL TERHADAP KINERJA TURBIN UAP DI PLTP DARAJAT

Syifa Nurfitriya, Maria Delavega, Paulus Sukusno, Rahman Filzi

Prodi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Jl. Prof. Dr. G. A. Siwabessy. Kampus Baru UI Depok 16424,

Telp : +6221 7270044, Fax : (021) 7270034

syifanurfitriya1@gmail.com

Abstrak

Dewasa ini kebutuhan akan daya listrik semakin meningkat setiap tahunnya. Hal tersebut disebabkan oleh kebijakan pemerintah dalam penyediaan daya listrik untuk menjangkau seluruh daerah di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan yang ada, maka PLTP Darajat harus dapat beroperasi secara kontinyu. Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mengetahui dampak overhaul terhadap kinerja turbin sesudah dan sebelum dilakukan overhaul dengan menganalisis data hasil observasi di lapangan. PLTP Darajat beroperasi secara terus-menerus mengakibatkan kinerja pembangkit menurun sehingga perlu dilakukan overhaul untuk mengembalikan kinerja pembangkit tersebut. Untuk meningkatkan kualitas hasil penelitian, penulis menambahkan studi literatur, pengamatan lapangan, pengambilan data, wawancara dan diskusi dengan pihak-pihak terkait dan analisa performa turbin. Hasil penelitian ini diharapkan mengetahui perbandingan sebelum dan sesudah dilakukan overhaul dan kenaikan kinerja setelah dilakukan overhaul. Hasil dari penelitian ini dapat diperoleh terjadi kenaikan efisiensi turbin sebesar 1,78% dari sebelum dilakukannya overhaul sebesar 77,37% menjadi sebesar 78,75% setelah dilakukannya overhaul.

Kata Kunci : turbin, overhaul, efisiensi turbin

Abstract

Nowadays the need for electrical power is increasing every year. This was caused by the government's policy in providing electrical power to reach all regions in Indonesia. To meet existing needs, the Darajat geothermal power plants must be able to operate continuously. The aim of this paper is to determine the impact on the performance of turbine overhaul before and after the overhaul which can be done by analyzing the observed data. The Darajat geothermal power plants operate continuously resulting in decreased plant performance that needs to restore the plant's performance by doing maintenance such as overhaul. To improve the quality of research results, the authors add literature study, data collection during field observation interviews and discussions with stakeholders and analysis of the performance of the turbine. This results of this study obtained increase in the efficiency of turbine up to 1,78% from the 77,37% before conducting maintenance and 78,75% after maintenance.

Keywords: turbine, overhaul, efficiency turbine

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, seiring berkembangnya perekonomian di Indonesia menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat akan energi listrik. Namun, hal ini mengakibatkan sumber utama penghasil energi listrik seperti minyak bumi dan batu bara semakin menipis cadangannya. Salah satu upaya untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan sumber energi alternatif yang masih memiliki banyak pasokan cadangannya dan lebih ramah lingkungan.

Panas bumi adalah salah satu energi alternatif yang paling potensial di Indonesia. Hal ini dikarenakan lokasi Indonesia yang dikelilingi oleh banyak gunung berapi. Potensi energi panas bumi di Indonesia mencapai 28.528 MW. Pada PT Indonesia Power UBP Kamojang Unit PLTP Darajat mampu menghasilkan listrik sebesar 55 MW, sehingga dapat memasok kebutuhan energi listrik untuk daerah Jawa Barat[1].

Pada pembangkit tenaga listrik panas bumi, turbin merupakan salah satu komponen yang paling utama. Uap yang digunakan untuk memutar turbin berasal dari proses pembentukan secara alami didalam perut bumi. Karena uap yang berasal dari dalam perut bumi masih banyak mengandung berbagai macam gas dan kotoran maka sebelum uap masuk ke dalam turbin, uap melewati berbagai macam proses penyaringannya (filtrasi), sehingga uap yang telah bersih dari kotoran dan gas dapat digunakan untuk memutar rotor turbin. Putaran dari rotor turbin tersebut dikonversikan menjadi energi listrik oleh

generator[2]. Akibat sering beroperasi kinerja turbin mengalami penurunan, sehingga perlu dilakukannya overhaul untuk meningkatkan kembali kinerja turbin.

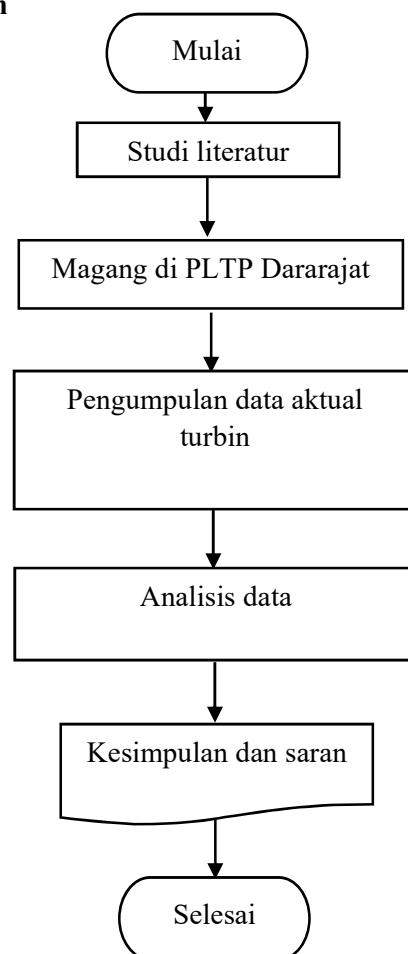
Sesudah dilakukannya overhaul pada turbin, terdapat perubahan nilai kinerja turbin yang dianalisa berdasarkan parameter-parameter yang digunakan. Maka, penyusun mengangkat judul ini untuk menjelaskan dampak dilakukannya overhaul terhadap kinerja turbin.

1.2 Tujuan

- a. Membandingkan kinerja turbin sebelum dan sesudah *overhaul*.
- b. Mengetahui pengaruh kinerja turbin pada beban generator sebelum dan sesudah *overhaul*.

2. Metode Penelitian

2.1 Diagram alir penelitian



2.1 Diagram alir metodologi

Metode pelaksanaan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Metode observasi

Penulis mencari data dengan melihat langsung ke lapangan selama praktek kerja lapangan (PKL), sehingga data yang dibutuhkan dapat diperoleh secara langsung melalui bimbingan dari pembimbing industri.

2. Metode wawancara

Penulis melakukan wawancara secara langsung dengan mentor maupun dengan operator untuk melengkapi data yang belum lengkap.

3. Mengumpulkan data

Penulis melakukan pengumpulan data aktual yang dapat dilakukan di *Central Control Room* (CCR).

4. Mengolah data

Penulis mengolah data yang telah terkumpul dari hasil pengumpulan data aktual di *Central Control Room* (CCR).

5. Menganalisa data

Penulis memperjelas hasil dari perbandingan data pada setiap hasil pengolahan data.

2.2 Rumus perhitungan kinerja turbin

Perhitungan kinerja turbin dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut :

- Fraksi uap dapat diperoleh dari persamaan 2.1

$$x_2 = \frac{S_2 - S_{f2}}{S_{fg2}} \quad \dots[\text{persamaan 2.1}]$$

dimana :

x_2 = fraksi uap

S_2 = entropi uap (kJ/kg k)

S_{f2} = entropi cairan (kJ/kg k)

- Entalpi uap tekanan keluaran turbin dapat diperoleh dari persamaan 2.2

$$h_{2s} = h_{f2} + x_2 h_{fg2} \quad \dots[\text{persamaan 2.2}]$$

dimana :

h_{2s} = entalpi uap (kJ/kg)

h_{f2} = entalpi cairan (kJ/kg)

- Kerja aktual dapat diperoleh melalui persamaan 2.3

$$W \text{ aktual} = \frac{\text{daya generator} / \eta_{\text{generator}}}{\dot{m}} \quad \dots[\text{persamaan 2.3}]$$

dimana :

$W \text{ aktual}$ = Kerja turbin aktual (kJ/kg)

\dot{m} = flow uap yang masuk turbin (kg/s)

η generator = 98%

- Kerja Isentropis dapat diperoleh melalui persamaan 2.4

$$W \text{ isentropis} = (h_1 - h_{2s}) \quad \dots[\text{persamaan 2.4}]$$

dimana :

$W \text{ isentropis}$ = Kerja turbin isentropis (kJ/kg)

h_1 = entalphy uap tekanan masuk turbin (kJ/kg)

h_{2s} = entalphy uap tekanan keluaran turbin (kJ/kg)

- Sehingga untuk mencari efisiensi turbin ialah persamaan 2.3 dibagi dengan persamaan 2.4

$$\eta = \frac{W \text{ aktual}}{W \text{ isentropis}} \times 100\% \quad \dots[\text{persamaan 2.5}]$$

dimana :

η = efisiensi turbin (%)

$W \text{ aktual}$ = Kerja turbin aktual (kJ/kg)

$W \text{ isentropis}$ = Kerja turbin isentropis (kJ/kg)

3. Hasil Pembahasan

3.1 Data Hasil Perhitungan

3.1.1 Data Hasil Perhitungan Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

Tabel.1 Hasil perhitungan sebelum dan sesudah *overhaul*

Data Hasil Perhitungan Sebelum Overhaul									
No	Tanggal	\dot{m} (kg/h)	P Turbin (bar a)	P Kondensor (bar)	Sg ₁ (kJ/kg K)	Sf ₂ (kJ/kg K)	Sg ₂ (kJ/kg K)	X	Beban Gener ator (MW)
1	29/11/17	392375	10,178	0,138	6,613	0,730	8,042	0,805	54,400
2	30/11/17	392375	10,180	0,135	6,576	0,727	8,046	0,799	53,900
3	04/12/17	359750	9,423	0,124	6,603	0,705	8,076	0,800	49,950
4	05/12/17	359875	9,436	0,122	6,603	0,700	8,081	0,799	49,950
5	06/12/17	364750	9,583	0,130	6,598	0,717	8,059	0,801	50,140
6	07/12/17	369375	9,690	0,133	6,594	0,723	8,051	0,801	50,690
7	08/12/17	384125	10,030	0,138	6,582	0,733	8,038	0,800	52,630
Data Hasil Perhitungan Sesudah Overhaul									
No	Tanggal	\dot{m} (kg/h)	P Turbin (bar a)	P Kondensor (bar)	Sg ₁ (kJ/kg K)	Sf ₂ (kJ/kg K)	Sg ₂ (kJ/kg K)	X	Beban Gener ator (MW)
1	09/01/18	394125	10,000	0,145	6,582	0,743	8,023	0,802	55,170
2	10/01/18	394750	9,960	0,143	5,840	0,739	8,028	0,801	54,680
3	11/01/18	387750	9,820	0,134	6,589	0,720	8,054	0,800	55,010
4	12/01/18	390375	9,870	0,137	6,587	0,726	8,045	0,800	54,670
5	13/01/18	391750	9,900	0,142	6,586	0,737	8,031	0,802	54,580
6	14/01/18	393500	9,950	0,140	6,584	0,733	8,037	0,801	55,030
7	15/01/18	394750	9,980	0,141	6,583	0,735	8,034	0,801	54,960

3.1.2 Data Hasil Perhitungan Kinerja Turbin Sebelum dan Sesudah *Overhaul*

Tabel.2 Hasil perhitungan kinerja turbin sebelum *overhaul*

Data Hasil Perhitungan Kinerja Turbin Sebelum Overhaul							
No	Tanggal	h_1 (kJ/kg)	h_{f2} (kJ/kg)	h_{fg2} (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	Kerja isentropis Turbin (kJ/kg)	Kerja aktual turbin (kJ/kg)
1	29/11/17	2776,841	218,007	2378,050	2132,337	644,504	509,300
2	30/11/17	2776,844	216,909	2378,500	2117,570	659,274	504,619
3	04/12/17	2773,923	209,698	2382,668	2116,070	657,853	510,048
4	05/12/17	2773,976	208,328	2383,458	2114,380	659,596	509,870
5	06/12/17	2774,567	213,696	2380,358	2120,360	654,207	504,944
6	07/12/17	2774,989	215,636	2379,237	2121,640	653,349	504,091
7	08/12/17	2776,290	218,789	2377,413	2122,150	654,140	503,311
Data Hasil Perhitungan Kinerja Turbin Sesudah Overhaul							
No	Tanggal	h_1 (kJ/kg)	h_{f2} (kJ/kg)	h_{fg2} (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	Kerja isentropis Turbin (kJ/kg)	Kerja aktual turbin (kJ/kg)
1	09/01/18	2776,280	222,44	2375,484	2127,578	648,702	514,216
2	10/01/18	2776,125	221,076	2376,273	2124,470	651,655	508,842
3	11/01/18	2775,585	214,938	2379,826	2118,798	656,787	521,154
4	12/01/18	2775,778	216,984	2378,642	2119,897	655,881	515,486
5	13/01/18	2775,917	220,394	2376,668	2126,481	649,436	511,801
6	14/01/18	2776,087	219,030	2377,458	2123,373	652,714	513,726
7	15/01/18	2776,202	219,712	2377,063	2123,739	652,463	511,634

3.1.3 Data Hasil Perhitungan Rata-rata Efisiensi

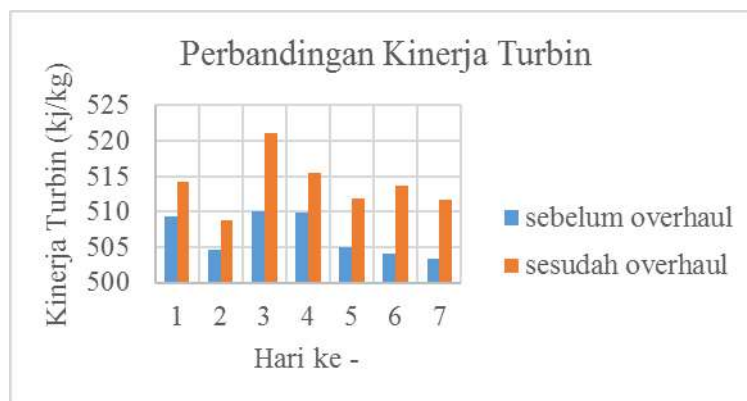
Tabel.4 Hasil perhitungan rata-rata efisiensi turbin sebelum dan sesudah *overhaul*

Data Hasil Perhitungan Rata-rata Efisiensi Turbin Sebelum Overhaul			
No	Tanggal	Efisiensi Turbin (%)	Rata-rata Efisiensi
1	29/11/17	79,02	77,37 %
2	30/11/17	76,54	
3	04/12/17	77,50	
4	05/12/17	77,30	
5	06/12/17	77,18	
6	07/12/17	77,16	
7	08/12/17	76,94	
Data Hasil Perhitungan Rata-rata Efisiensi Turbin Sebelum Overhaul			
No	Tanggal	Efisiensi Turbin (%)	Rata-rata Efisiensi
1	09/01/18	79,27	78,75 %
2	10/01/18	78,08	
3	11/01/18	79,35	
4	12/01/18	78,59	
5	13/01/18	78,81	
6	14/01/18	78,70	
7	15/01/18	78,42	

Pada tabel.4 dapat dihitung rata-rata efisiensi turbin sebelum *overhaul* sebesar 77,37%, dan efisiensi turbin setelah *overhaul* sebesar 78,75% atau terjadi peningkatan nilai efisiensi sebesar 1,78%.

3.2 Grafik Hasil Analisa Data

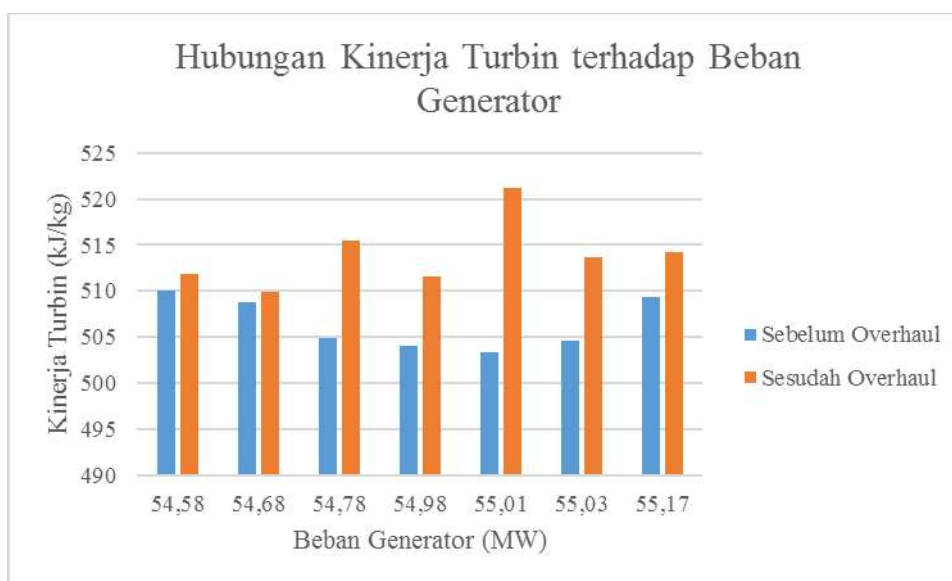
3.2.1 Grafik Perbandingan Kinerja Turbin Sebelum dan Sesudah *Overhaul*



Gambar.1 Grafik perbandingan kinerja turbin

Dari gambar 1 di atas dapat menunjukkan bahwa untuk membandingkan kinerja turbin sebelum dan sesudah overhaul. Sebelum overhaul kinerja turbin rata-rata 506,598 [kJ/kg] dan sesudah overhaul kinerja turbin 513,837 [kJ/kg]. Dampak dari adanya overhaul mengakibatkan kinerja rata-rata turbin naik sebesar 1,43%. Kenaikan kinerja turbin berkaitan dengan overhaul turbin yang dilakukan 10 Desember 2017 – 28 Desember 2017. Kegiatan overhaul ini membuat kinerja turbin menjadi lebih optimal sehingga daya turbin meningkat akibat dari meningkatnya kinerja turbin.

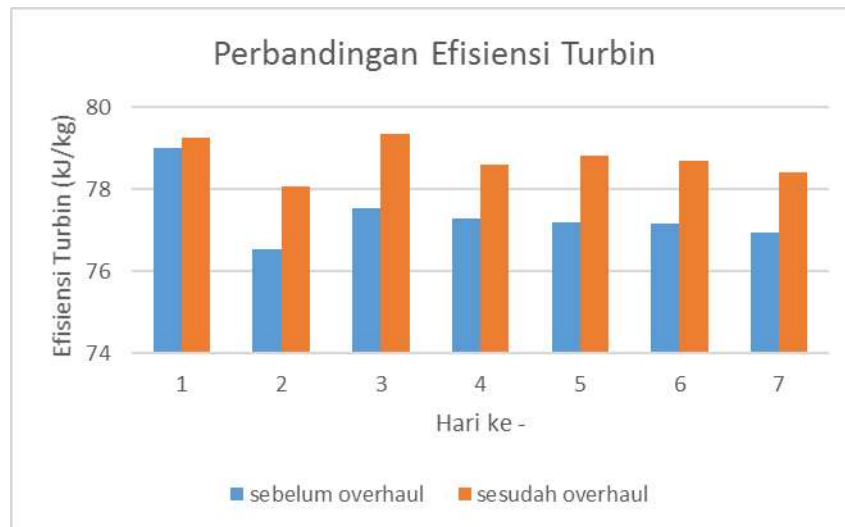
3.2.2 Grafik Hubungan Kinerja Turbin terhadap Beban Generator Sebelum dan Sesudah *Overhaul*



Gambar.2 Grafik perbandingan kinerja turbin terhadap beban generator

Pada grafik 2 menjelaskan bahwa kinerja turbin rata-rata 506,598 [kJ/kg] dan menghasilkan beban rata-rata 51,66 [MW], sedangkan setelah overhaul kinerja turbin rata-rata 513,837 [kJ/kg] dan menghasilkan beban rata-rata 54,87 [MW]. Jadi dapat disimpulkan bahwa kinerja turbin berbanding lurus dengan beban yang dihasilkan turbin.

3.2.3 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin Sebelum dan Sesudah *Overhaul*



Gambar.3 Grafik perbandingan efisiensi turbin

Pada gambar 3 dapat menunjukkan bahwa rata-rata efisiensi sebelum overhaul 77,37 %, sedangkan setelah overhaul 78,75%. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi sesudah overhaul lebih besar 1,78% dibandingkan dengan efisiensi sebelum overhaul.

4. Kesimpulan

1. Kinerja aktual turbin di PLTP Darajat sebelum overhaul 506,598 [kJ/kg], dan setelah overhaul turbin kinerja turbin 513,837 [kJ/kg]. Dampak dari overhaul, turbin mengalami kenaikan kinerja sebesar 1,43%.
2. Turbin menghasilkan kinerja rata-rata 506,598 [kJ/kg] sebelum overhaul dan menghasilkan beban 51,66 [MW], sedangkan setelah overhaul turbin menghasilkan kinerja 513,837 [kJ/kg] dan menghasilkan beban 54,87 [MW]. Jadi dapat disimpulkan bahwa kinerja turbin berbanding lurus terhadap beban generator.

Daftar Pustaka

- [1] Arifien, *Pengetahuan Dasar Pembangkit PT.Indonesia Power UPJP Kamojang Unit Darajat*, 2010.
- [2] PLTP Darajat, *Mechanical Document Steam Turbine Manual Book, Vol.6*
- [3] Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati, *Mesin Konversi Energi*, (Edisi Revisi 978), 2009, hal 132.
- [4] Kinsky Roger, *Heat Engineering An Introduction to Thermodynamics (Third Edition)*. Australia : McGraw-Hill Book. 1989, hal 305.
- [5] Y.A Cengel dan M.A Boles, *Thermodymics An Engineering Approach, (5th Edition)*, 2006, hal 121.

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN NILAI KEVAKUMAN KONDENSOR TERHADAP EFISIENSI TURBIN UAP

Yeyet Handayani¹; Fachruddin; Candra Damis Widiawati

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹yeyeth49@gmail.com

Abstrak

Kondensor merupakan alat penukar kalor atau biasa disebut dengan heat exchanger yang berfungsi untuk mengondensasi uap kerja keluaran dari Low Pressure Turbine menjadi air. Kevakuman kondensor selalu dijaga nilainya karena perubahan nilai kevakuman kondensor dapat berpengaruh pada nilai efisiensi turbin uap. Permasalahan yang ada pada pembangkit ini adalah kotornya pipa – pipa kondensor yang ditunjukkan dengan turunnya nilai presentase condenser cleanliness, hingga menyebabkan nilai kevakuman kondensor mendekati tekanan atmosfer dan mengakibatkan penurunan efisiensi turbin uap hingga menyebabkan unit pembangkit trip (mati mendadak). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara efisiensi turbin uap dan tingkat condenser cleanliness terhadap nilai kevakuman kondensor. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan mencari nilai efisiensi turbin uap dan condenser cleanliness pada 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018 saat masing – masing nilai kevakuman kondensor dan daya aktual turbin uap sebesar -707.9 [mmHg gauge] dan 215.7 [MW], -696.5 [mmHg gauge] dan -2.52 [MW], -705.1 [mmHg gauge] dan 211.14 [MW], serta -703.8 [mmHg gauge] dan 201.87 [MW] dengan menggunakan persamaan yang didapat dari Performance Calculation Formula dari Mitsubishi Heavy Industry LTD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi terbaik turbin uap berada pada saat nilai condenser cleanliness sebesar 61.01% dan nilai kevakuman kondensor -707.9 [mmHg gauge], yaitu sebesar 30.97% dengan beban aktual turbin uap sebesar 215.7 [MW], sedangkan nilai efisiensi terendah turbin uap berada saat nilai condenser cleanliness 25.39% dan nilai kevakuman kondensor -696.5 [mmHg gauge], yaitu -0.91% dengan daya yang dihasilkan -2.52 [MW]. Nilai negatif pada daya yang dihasilkan turbin ini menunjukkan bahwa unit pembangkit mengalami trip.

Kata kunci : Kevakuman kondensor; efisiensi turbin uap, condenser cleanliness

Abstract

Condenser is a heat exchanger used to condense the steam from Low Pressure Turbine into water. The condenser vacuum is always maintained within a given range provided by the manufacturer because condenser vacuum greatly affects the value of efficiency of steam turbine. The problem in this plant was that the pipes in the condenser were dirty which shown by the declining percentage of condenser cleanliness and it caused the value of condenser vacuum approach atmospheric pressure that made the generating unit shut down. This study was to analyze the relationship among steam turbine efficiency and the percentage of condenser cleanliness to the values of condenser vacuum. This research method was to find the efficiency of steam turbine and the percentage of condenser cleanliness on February 01 2017, February 24 2017, March 20 2018, and March 23 2018 when the values of condenser vacuum and steam turbine actual load were -707.9 [mmHg gauge] and 215.7 [MW], -696.5 [mmHg gauge] and -2.52 [MW], -705.1 [mmHg gauge] and 211.14 [MW], and -703.8 [mmHg gauge] and 201.87 [MW] using Performance Calculation Formula from Mitsubishi Heavy Industry LTD. The results showed that the best efficiency of steam turbine was 30.97% when the condenser vacuum was -707.9 [mmHg], the steam turbine actual load was 215.7 [MW], and the percentage of condenser cleanliness was 61.01%. The lowest efficiency of steam turbine was -0.91% when the condenser vacuum was -696.5 [mmHg], the steam turbine actual load was -2.52 [MW], and the percentage of condenser cleanliness was 25.39%. the negative value of steam turbine actual load indicated that the generating unit shut down.

Keywords: Condenser vacuum, steam turbine efficiency, condenser cleanliness

NOMENKLATUR

G_{HP}	= Massa aliran uap utama HP [t/h]	G_{LP}	= Massa aliran uap LP [t/h]
G_{HP1}	= HRSG 1 HP Steam Flow [t/h]	$G_{HRSG1LP}$	= HRSG 1 LP Steam Flow [t/h]
G_{HP2}	= HRSG 2 HP Steam Flow [t/h]	$G_{HRSG2LP}$	= HRSG 2 LP Steam Flow [t/h]
G_{HPBFP}	= HP Feed Water Pump Flow [t/h]	G_{CRH}	= Massa aliran uap CRH [t/h]
$G_{FWP HP A}$	= Flow FWP A menuju HP ECO [t/h]	$G_{HP CALC}$	= HP Steam Flow Calculation [t/h]
$G_{FWP HP B}$	= Flow FWP B menuju HP ECO [t/h]	G_{LEAK}	= HP Leakage Flow [t/h]
$G_{FWP HP C}$	= Flow FWP C menuju HP ECO [t/h]	H_{ST}	= Steam Turbine Heat Input [MW]
G_{HPDSH1}	= HPDSH 1 [t/h]	MW	= ST Actual Load [MW]

G_{HPDSH2}	= HPDSH 2 [t/h]	KWEL	= Generator Loss [kW]
G_{IPBFP}	= IP Feed Water Pump Flow [t/h]	KWML	= Turbine Mechanical Loss [kW]
$G_{FWP\ IP\ A}$	= Flow FWP A menuju IP ECO [t/h]	H.R.	= Steam Turbine Heat Rate [kJ/kWh]
$G_{FWP\ IP\ B}$	= Flow FWP B menuju IP ECO [t/h]	Q	= Quantity of Heat Transfer [kJ/h]
$G_{FWP\ IP\ C}$	= Flow FWP C menuju IP ECO [t/h]	T_{LM}	= Logarithmic Mean Temperature Difference [°C]
G_{RHDSH1}	= RHDSH 1 [t/h]	T_{SAT}	= Saturate Temperature at Condenser Inner Pressure [°C]
G_{RHDSH2}	= RHDSH 2 [t/h]	T_{CW0}	= Condenser Inlet Circulating Water Temperature [°C]
G_{LPBFP}	= LP Feed Water Pump Flow [t/h]	T_{CW1}	= Condenser Outlet Circulating Water Temperature [°C]
$G_{FWP\ LP\ A}$	= Flow FWP A menuju LP ECO [t/h]	A	= Condenser Surface Area To Be Cooled [m ²]
$G_{FWP\ LP\ B}$	= Flow FWP B menuju LP ECO [t/h]	KA	= Heat Transfer Coefficient (Actual Value) [W/m ² °C]
$G_{FWP\ LP\ C}$	= Flow FWP C menuju LP ECO [t/h]	KD	= Heat Transfer Coefficient (Design Value) [W/m ² °C]
η	= Efisiensi Turbin Uap		

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

PLTGU merupakan penggabungan siklus antara siklus Brayton PLTG dan siklus Rankine PLTU. Siklus gabungan ini memiliki efisiensi termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan siklus PLTU dan PLTG yang terpisah [1]. Salah satu peralatan utama pada PLTGU adalah kondensator. Kondensator adalah peralatan utama pada sistem turbin uap yang berfungsi untuk mengubah uap menjadi air. Proses perubahannya dilakukan dengan cara mengalirkan uap ke dalam suatu ruangan yang berisi pipa - pipa (*tubes*). Uap mengalir di luar pipa-pipa, sedangkan air sebagai pendingin mengalir di dalam pipa-pipa. Kondensator seperti ini disebut *surface (tubes) condenser*. Sebagai pendingin, biasanya digunakan air sungai atau air laut [2]. Kondensator turbin uap (*Steam Turbine Condenser*) berperan penting dalam siklus PLTU. Kinerja kondensator dapat dilihat dari beberapa parameter, seperti temperatur air pendingin pada sisi inlet kondensator, laju aliran massa air pendingin, dan tekanan uap [3].

Permasalahan yang ada pada PLTGU Cilegon adalah sering terjadinya perubahan nilai kevakuman kondensator yang sangat signifikan, pada penelitian ini nilai kevakuman kondensator berkisar antara -696.5 [mmHg gauge] sampai dengan -707.9 [mmHg gauge]. Hal ini mengakibatkan penurunan efisiensi dan daya yang dihasilkan oleh turbin uap. Seperti yang terjadi pada tanggal 24 Februari 2017 pukul 20:20 WIB, unit PLTGU Cilegon mengalami trip selama kurang lebih 6 jam sampai dengan 25 Februari 2017 pukul 2:45 WIB.

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Ardhito menyatakan bahwa laju perpindahan panas yang besar sebanding dengan nilai efektivitas kondensator, ketika laju perpindahan panas besar, maka nilai efektivitas kondensator akan meningkat, sedangkan hal tersebut berbanding terbalik dengan nilai tekanan vakum kondensator yang semakin rendah. Tetapi, bila nilai kevakuman kondensator terlalu rendah dan tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan oleh pabrikan, maka hal ini akan menyebabkan nilai efektivitas kondensator menurun, sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin uap pun menurun [4]. Sukarno, A., dkk hasil penelitian pada analisis perubahan tekanan vakum kondensator terhadap kinerja kondensator di PLTU Tanjung Jati B Unit I menunjukkan bahwa kondensator akan bekerja maksimal dengan kisaran tekanan vakum kondensator antara 72 – 83 mbar absolute karena pada tekanan vakum 72 – 83 mbar absolute perpindahan panas (proses kondensasi) antara uap dan air berlangsung secara maksimal, sehingga uap akan sepenuhnya berubah fasa menjadi air yang nantinya akan digunakan sebagai air umpan. Kinerja terbaik kondensator didapat saat nilai efektivitas kondensator tinggi dengan laju perpindahan panas yang tinggi, dan dengan tekanan vakum yang berada pada kisaran yang telah ditentukan [5]. Kedua penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa perubahan nilai kevakuman kondensator memengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin uap.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa hubungan antara kevakuman kondensator dan persentase *condenser cleanliness* terhadap efisiensi turbin uap.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan mula-mula adalah dengan melakukan pengumpulan data dengan membaca *manual book*, referensi dari perpustakaan, wawancara serta mendokumentasikan secara langsung objek-objek yang sedang diamati. Pengumpulan data dilakukan di PLTGU Cilegon. Data yang diambil adalah data operasi pada tanggal 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018. Parameter-parameter data yang diambil meliputi.

- a. Data Pengukuran Tekanan
 - Tekanan uap HP [bar]
 - Tekanan uap CRH [bar]
 - Tekanan uap HRH [bar]
 - Tekanan uap masuk turbin LP [bar]
 - Tekanan air kondensat [bar]
- b. Data Pengukuran Temperatur
 - Temperatur uap HP [°C]
 - Temperatur uap CRH [°C]
 - Temperatur uap HRH [°C]
 - Temperatur uap masuk turbin LP [°C]
 - Temperatur air kondensat [°C]
 - *Saturate temperature at condenser inner pressure* [°C]
 - *Condenser inlet circulating water temperature* [°C]
 - *Condenser outlet circulating water temperature* [°C]
- c. Data Pengukuran *Steam Flow*
 - HRSG 1 HP *steam flow* [t/h]
 - HRSG 2 HP *steam flow* [t/h]
 - *Condensate flow* [t/h]
 - Flow FWP A menuju HP ECO [t/h]
 - Flow FWP B menuju HP ECO [t/h]
 - Flow FWP C menuju HP ECO [t/h]
 - HPDSH *flow* 1 [t/h]
 - HPDSH *flow* 2 [t/h]
 - Flow FWP A menuju IP ECO [t/h]
 - Flow FWP B menuju IP ECO [t/h]
 - Flow FWP C menuju IP ECO [t/h]
 - RHDSH *flow* 1 [t/h]
 - RHDSH *flow* 2 [t/h]
 - Flow FWP A menuju LP ECO [t/h]
 - Flow FWP B menuju LP ECO [t/h]
 - HRSG 1 LP *steam flow* [t/h]
 - HRSG 2 LP *steam flow* [t/h]
- d. Data Pengukuran Kevakuman Kodensor [mmHg]
- e. Data *Steam Turbine Actual Load* [MW]
- f. *Turbine Mechanical Loss* [kW]
- g. *Number of Closed Tube*
- h. *Condenser Surface Area To Be Cooled* [m²]
- i. *Heat Transfer Coefficient (Standard Value)* [W/m²°C]

Setelah data terkumpul, selanjutnya data diolah dengan menghitung efisiensi turbin uap dan *condenser cleanliness* dengan berdasarkan pada perhitungan menggunakan *Performance Calculation Formula* dari *Mitsubishi Heavy Industry* [6].

- a. Efisiensi Turbin Uap

$$\eta = \frac{MW}{H_{ST}} \times 100\% \quad [1]$$

Namun, sebelum menghitung efisiensi turbin uap dengan menggunakan persamaan [1] di atas, sebelumnya harus menghitung massa aliran uap utama HP, HP feed water pump flow, IP feed water pump flow, LP feed water pump flow, massa aliran uap IP (IP SteamFlow Calculation), massa aliran uap LP, HP steam flow calculation, HP leakage flow, massa aliran uap CRH, massa aliran uap HRH, dan steam turbine heat input. Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan.

- Massa Aliran Uap Utama HP

$$G_{HP} = G_{HP1} + G_{HP2} \quad [2]$$

- HP Feed Water Pump Flow

$$G_{HPBFP} = G_{FWPHPA} + G_{FWPHPB} + G_{FWPHPC} + G_{HPDSSH1} + G_{HPDSSH2} \quad [3]$$

- IP Feed Water Pump Flow

$$G_{IPBFP} = G_{FWPIP A} + G_{FWPIP B} + G_{FWPIP C} + G_{RHDSH1} + G_{RHDSH2} \quad [4]$$

- LP Feed Water Pump Flow

$$G_{LPBFP} = G_{FWPLPA} + G_{FWPLPB} + G_{FWPLPC} \quad [5]$$

- Massa Aliran Uap IP (IP SteamFlow Calculation)

$$G_{IP} = G_{CW} \times \frac{G_{IPBFP}}{G_{HPBFP} + G_{IPBFP} + G_{LPBFP}} \quad [6]$$

- Massa Aliran Uap LP

$$G_{LP} = G_{HRSG1 LP} + G_{HRSG2 LP} \quad [7]$$

- HP Steam Flow Calculation

$$G_{HP CALC} = G_{CW} \times \frac{G_{HPBFP}}{G_{HPBFP} + G_{IPBFP} + G_{LPBFP}} \quad [8]$$

- HP Leakage Flow

$$G_{LEAK} = 1.4797 \times 10^{-8}(x)^2 + 1.0555 \times 10^{-2}(x) + 8.1584 \times 10^3 \quad [9]$$

- Massa Aliran Uap CRH

$$G_{CRH} = G_{HP CALC} - G_{LEAK} \quad [10]$$

- Massa Aliran Uap HRH

$$G_{HRH} = G_{IP} + G_{CRH} \quad [11]$$

- Steam Turbine Heat Input

$$H_{ST} = ((H_{HP} \times G_{HP}) + (H_{HRH} \times G_{HRH}) + (H_{LP} \times G_{LP}) - (H_{CRH} \times G_{CRH}) - (H_{CW} \times G_{CW})) \times 1000 \quad [12]$$

b. Condenser Cleanliness

$$CF = \frac{KA}{KD} \times 100\% \quad [13]$$

Sebelum menghitung nilai Condenser Cleanliness dengan persamaan [13] di atas, sebelumnya harus menghitung nilai generator loss, steam turbine heat rate, quantity of heat rate, logarithmic mean temperature difference, dan heat transfer coefficient (actual value). Berikut adalah rumus-rumus yang digunakan.

- Generator Loss

$$KWEL = 0.0193x^2 + 1.2963x + 1490.4 \quad [14]$$

- *Steam Turbine Heat Rate*

$$H. R. = \frac{MW}{H_{ST} \times 1000} \quad [15]$$

- *Quantity of Heat Rate*

$$Q = ((H. R. \times MW \times 1000) - ((MW \times 1000) + KWML + KWEL)) \times 3600 \quad [16]$$

- *Logarithmic Mean Temperature Difference*

$$T_{LM} = \frac{(T_{SAT} - T_{CW \downarrow}) - (T_{SAT} - T_{CW \uparrow})}{\ln\left(\frac{(T_{SAT} - T_{CW \downarrow})}{(T_{SAT} - T_{CW \uparrow})}\right)} \quad [17]$$

- *Heat Transfer Coefficient (Actual Value)*

$$KA = \frac{Q \times 0.23885 \times 1.163}{T_{LM} \times A} \quad [18]$$

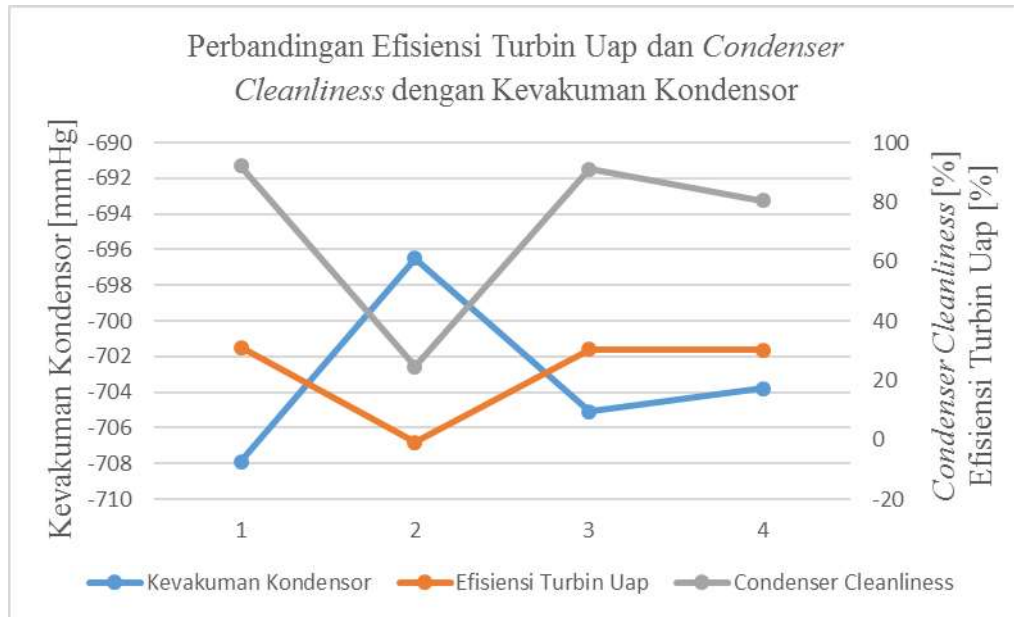
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengolahan data dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik yang menggambarkan hubungan antara kevakuman kondensor dengan efisiensi turbin uap, daya aktual turbin uap, dan *condenser cleanliness* seperti di bawah ini.

Tabel.1 Data 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018

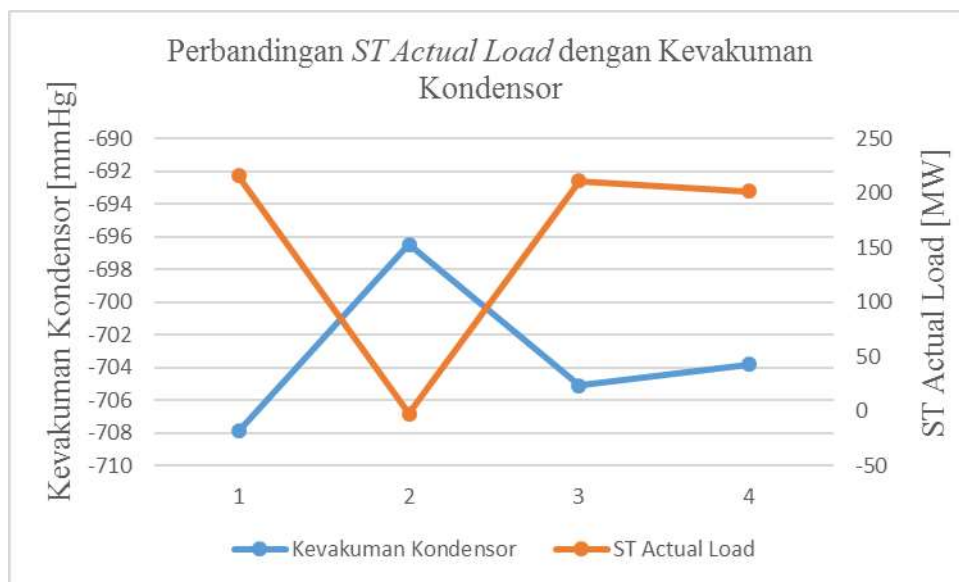
Kode	Nama	Satuan	Ket	01/02/2017	24/02/2017	20/03/2018	23/03/2018
PCW	Kevakuman Kondensor	mmHg gauge	Input	-707.9	-696.5	-705.1	-703.8
MW	<i>ST Actual Load</i>	MW	Input	215.7	-2.52	211.14	201.87
η	<i>Steam Turbine Efficiency</i>	%	Kalkulasi	31.9	-0.91	30.43	30.09
CF	<i>Condenser Cleanliness</i>	%	Kalkulasi	61.07	25.39	60.69	50.38

Pada tabel terlihat bahwa nilai kevakuman kondensor didapatkan dari alat ukur tekanan. Kevakuman kondensor pada tanggal 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018 berturut-turut adalah sebesar -707.9 [mmHg gauge], -696.5 [mmHg gauge], -705.1 [mmHg gauge], dan -703.8 [mmHg gauge]. Daya aktual turbin uap pada tanggal 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018 berturut-turut adalah sebesar 215.7 [MW], -2.52 [MW], 211.14 [MW], dan 201.87 [MW]. Efisiensi turbin uap didapat dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan [1]. Efisiensi turbin uap pada tanggal 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018 berturut-turut adalah sebesar 31.9%, -0.91%, 30.43%, dan 30.09%. Nilai *condenser cleanliness* didapat dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan [13]. Nilai *condenser cleanliness* pada tanggal 01 Februari 2017, 24 Februari 2017, 20 Maret 2018, dan 23 Maret 2018 berturut-turut adalah sebesar 61.07%, 25.39%, 60.69%, dan 50.38%. Selanjutnya, data-data yang tertera pada tabel di atas diolah ke dalam bentuk grafik. Hal ini dilakukan untuk membandingkan antara *ST Actual Load*, *Steam Cycle Efficiency*, dan *Condenser Cleanliness* dengan Tekanan Air Kondensat.



Gambar.1 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin Uap dan *Condenser Cleanliness* dengan Kevakuman Kondensor

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara efisiensi turbin uap dan *condenser cleanliness* dengan kevakuman kondensor. Efisiensi turbin uap tertinggi berada pada data 1 yang diambil pada 01 Februari 2017, yaitu sebesar 31.9% dengan nilai kevakuman kondensor sebesar -707.9 [mmHg gauge] dan presentase *condenser cleanliness* sebesar 61.07%. Sementara itu, efisiensi turbin uap terendah berada pada data 2 yang diambil pada 24 Februari 2017, yaitu -0.91% dengan nilai kevakuman kondensor sebesar -696.5 [mmHg gauge] dan presentase *condenser cleanliness* 25.39%. Nilai negatif pada data efisiensi menunjukkan bahwa unit pembangkit mengalami trip. Selain itu, grafik menunjukkan bahwa nilai efisiensi turbin uap dan *condenser cleanliness* berbanding terbalik dengan kevakuman kondensor.



Gambar.2 Grafik Perbandingan ST Actual Load dengan Kevakuman Kondensor

Grafik menunjukkan bahwa *ST Actual Load* terbesar berada pada data 1 yang diambil pada 01 Februari 2017, yaitu sebesar 215.7 [MW] dengan nilai kevakuman kondensor sebesar -707.9 [mmHg gauge]. Sementara itu, *ST Actual Load* terendah berada pada data 2 yang diambil pada 24 Februari 2017, yaitu -2.52 [MW] dengan nilai kevakuman kondensor -696.5 [mmHg gauge]. Nilai negatif pada *ST Actual Load* menunjukkan bahwa unit pembangkit mengalami trip. Data seharusnya menunjukkan nilai 0, tetapi karena ada kesalahan ketelitian pada alat ukur, sehingga membuat data bernilai negatif. Grafik ini menunjukkan bahwa *ST Actual Load* berbanding terbalik dengan kevakuman kondensor.

IV. KESIMPULAN

1. Perubahan nilai kevakuman kondensor sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin uap. Hal ini dapat dilihat pada data operasi tanggal 20 Maret 2018 dan 23 Maret 2018, yang menunjukkan nilai kevakuman kondensor dan efisiensi turbin uap secara berturut-turut -705.1 [mmHg gauge] dengan presentase efisiensi turbin uap 30.43% dan -703.8 [mmHg gauge] dengan persentase efisiensi turbin uap yang dihasilkan 30.09%. Dari data tersebut terlihat bahwa terjadi kenaikan kevakuman kondensor sebesar 1.3 [mmHg gauge] yang menyebabkan penurunan efisiensi turbin uap sebesar 0.47%.
2. Perubahan nilai *condenser cleanliness* juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi turbin uap. Hal ini terlihat pada data operasi tanggal 01 Februari 2017 dan 24 Februari 2017, yang menunjukkan nilai *condenser cleanliness* dan efisiensi turbin uap berturut-turut 61.07% dengan efisiensi turbin uap sebesar 31.9% dan 25.39% dengan efisiensi turbin uap -0.91%. Alat ukur yang kurang teliti mengakibatkan nilai yang didapat dalam perhitungan adalah minus (-). Seharusnya nilai ini menunjukkan angka 0. Nilai ini menunjukkan bahwa unit pembangkit uap mengalami trip. Dari data tersebut terlihat bahwa penurunan nilai *condenser cleanliness* adalah mencapai 35.68% yang menyebabkan unit pembangkit trip hingga efisiensinya 0%.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Abuelnuor, A.A.A., dkk., Exergy analysis of Garri 2 180 [MW] combined cycle power plant, Sudan, Sudan University of Science, 2017.
- [2]. PLN Corporate University, Dasar Pengoperasian PLTGU Edisi I, Jakarta, PT PLN, 2014.
- [3]. Laskowski, Rafał, Relations for steam power plant condenser performance in off-design conditions in the function of inlet parameters and those relevant in reference conditions, Polandia, Warsaw University of Technology, 2016.
- [4]. Ardhito, Daniswara Dwinata Luke. Analisis Pengaruh Kevakuman Kondensor Terhadap Laju Perpindahan Panas dan Efektivitas Pada Pltu Rembang Unit #10, Yogyakarta, Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [5]. Sukarno, A., dkk., Analisis Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Kinerja Kondensor di PLTU Tanjung Jati B Unit 1, Semarang, Politeknik Negeri Semarang, 2014.
- [6]. Mitsubishi Heavy Industry, Performance Calculation Formula, 2006, hal. 14-23.

OPTIMASI EFISIENSI PLTG PADA KONDISI KETERBATASAN BAHAN BAKAR

Alda Ahmadyaningrat¹; Fachruddin; Arifia Ekayuliana

*Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425*

[1aahmadyaningrat@gmail.com](mailto:aahmadyaningrat@gmail.com)

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) merupakan pembangkit listrik yang mempunyai fleksibilitas sehingga dapat menggunakan bahan bakar jenis gas dan bahan bakar minyak. Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik sering kali terjadi perubahan permintaan beban baik itu full load maupun based load, untuk memenuhi permintaan tersebut suatu pembangkit harus tetap siap dalam ketersediaan bahan bakar. Saat permintaan full load oleh P2B (Pusat Pengatur Beban) dan suplai bahan bakar gas tidak mencukupi untuk mengoperasikan PLTG, maka dibutuhkan High Speed Diesel (HSD) sebagai bahan bakar tambahan. Permasalahan yang terjadi pada PLTG tidak hanya terbatas pada efisiensi thermal saja, melainkan juga pada biaya pembangkit yang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan biaya operasi pembangkit atau fuel cost yang dilakukan dengan beban yang sama pada tiap unit. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah mencari variasi pola pembebanan pada PLTG Priok blok 1 unit 1.1, 1.2 dan 1.3 yang terbaik. Selanjutnya, dari pola pembebanan tersebut dihitung nilai heat rate, specific fuel consumption (SFC) dan efisiensi thermal berdasarkan ASTM PTC-22 Tahun 2005, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya operasi (cost/kWh). Data-data operasi dan data spesifik turbin gas untuk analisa diambil dari suatu perusahaan pembangkit tenaga listrik yang dijadikan objek penelitian. Hasil penelitian ini menunjukkan performa pembangkit yang baik. Biaya operasi yang dapat dihemat PLTG blok 1 Priok pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas), pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 115 MW - 100 MW - 115 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 120 MW - 90 MW, dan didapatkan penghematan biaya setiap jamnya sebesar Rp. 9.149.387, Rp. 11.879.814, dan Rp 7.141.120. Sedangkan biaya operasi yang dapat dihemat dengan penggunaan bahan bakar full gas yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 110 MW - 120 MW - 100 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 100 MW - 90 MW, dan didapatkan penghematan biaya setiap jam-nya sebesar Rp. 4.045.499, Rp. 7.713.610, dan Rp. 25.132.922.

Kata kunci: bahan bakar, biaya operasi, efisiensi, pola beban, SFC

Abstract

Gas turbine power plant (PLTG) is one of the power plant that has a flexibility in used. It can use the gas fuel and/or oil fuel for operation. During operation of electric power systems, there is often a change in load demand, whether it is full load or based load. Moreover, to address this fluctuating demand the power plant have to maintain the fuel availability. When the full load demand by P2B (Load Control Center) and gas fuel supply is insufficient to operate the PLTG, it needs High Speed Diesel (HSD) as additional fuel. The problems that occur in the PLTG are not only limited to thermal efficiency, but also at the cost of efficient generators. This study aimed to minimize plant operating costs or fuel costs with the same load on each unit. The method used in this research was to find the best variation of loading pattern in PLTG Priok block 1 unit 1.1, 1.2 and 1.3. Furthermore, the heat rate value, Specific Fuel Consumption (SFC) and thermal efficiency were calculated based on ASTM PTC-22 2005, then performed the calculation of operating costs (cost / kWh). Operation data and gas turbine specific data for analysis were taken from a power generating company which was the object of research. Operation cost that can be saved by PLTG block 1 Priok with the use of two types of fuel (HSD and Gas), at 360 MW with load pattern of 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW with load pattern 115 MW - 100 MW - 115 MW, and 300 MW with a load pattern of 90 MW - 120 MW - 90 MW, were obtained cost savings per hour Rp. 9.149.387, Rp. 11.879.814, and Rp 7.141.120, respectively. Meanwhile, the operating costs that can be saved of full gas fuel at 360 MW with load pattern of 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW with load pattern of 110 MW - 120 MW - 100 MW, and 300 MW with 90 MW - 100 MW - 90 MW, were obtained cost savings per hour of Rp. 4.045.499, Rp. 7.713.610, and Rp. 25.132.922. These results indicated a good plant performance.

Keywords: fuel, operating cost, efficiency, load pattern, SFC

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangkit listrik gas dan uap (PLTGU) merupakan pembangkit listrik termal yang memiliki kapasitas daya besar dan dioperasikan sebagai pembangkit untuk beban dasar maupun beban puncak. PLTGU bekerja berdasarkan akumulasi dari Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), gas buang dari turbin gas digunakan sebagai sumber energi turbin uap [1]. Permintaan perubahan beban pada PLTGU sering kali terjadi dan diatur oleh PT PLN (Persero) Pusat Pengaturan Beban (P2B). Dalam merespon perubahan beban yang terjadi, maka secara otomatis suplai bahan bakar, udara pembakaran, serta gas buang yang digunakan untuk pembentukan uap ikut berubah pula. Sebagaimana kita ketahui bahwa masing-masing unit pembangkit mempunyai efisiensi yang berbeda. Satu unit pada beban 80% bisa saja lebih efisien dari pada unit lainnya pada beban yang sama, sehingga pembebanan secara merata saja belum tentu menghasilkan efisiensi optimal [2].

PLTGU Priok menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu bahan bakar gas sebagai bahan bakar utama dan untuk bahan bakar tambahan menggunakan *High Speed Diesel* (HSD). Bahan bakar gas yang dipergunakan untuk mengoperasikan pembangkit disuplai dari PT Nusantara Regas (NR) dan PT Perusahaan Gas Negara (PGN). Saat permintaan *full load* oleh P2B dan suplai bahan bakar gas tidak mencukupi untuk mengoperasikan PLTG, maka dibutuhkan HSD sebagai bahan bakar tambahan. Untuk bisa mengoptimalkan pembebanan dari P2B, maka pembangkit harus menawarkan *Heat Rate* yang lebih baik atau efisiensi yang lebih baik. Optimasi suatu pembangkit tidak hanya dapat dilakukan dengan meminimalkan pembebanan pada pembangkitan tetapi dapat juga dilakukan meminimalisasi biaya operasi atau *fuel cost*.

Penelitian tentang optimasi pada pembangkit tenaga listrik yang dilakukan oleh Marno Siswanto yaitu dengan cara pendekatan *Least Square Parabolic Approach* dan karakteristik yang didapatnya diminimalisasi dengan metode Lagrange Multiplier [3] Risna Adit Setiawan mencari pembagian beban yang mengeluarkan biaya bahan bakar paling minimum dengan menggunakan metode *Dynamic Programming* [4] Nevy Ervinia Sari dilakukan dengan cara mengembangkan model *Fuzzy Goal Programming* untuk manajemen penggunaan bahan bakar agar beban yang diproduksi sesuai dengan target dengan biaya yang minimal [5]. Sedangkan yang dilakukan pada skripsi ini adalah melakukan perhitungan nilai *heat rate*, *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan efisiensi *thermal* didasarkan pada ASTM PTC-22 Tahun 2005, serta melakukan analisa grafik hasil perhitungan efisiensi terhadap *cost/kWh*. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dengan pembagian beban pada unit pembangkit sehingga diperoleh efisiensi pembangkitan yang maksimal dengan biaya pengoperasian unit pembangkit yang minimal.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh beban operasi terhadap konsumsi spesifik bahan bakar, *heat rate* dan efisiensi *thermal* PLTG.
2. Mengetahui variasi pola pembebanan yang efektif dan efisien pada PLTG.
3. Mengetahui prakiraan biaya penghematan bahan bakar HSD dan gas serta bahan bakar *full gas*.

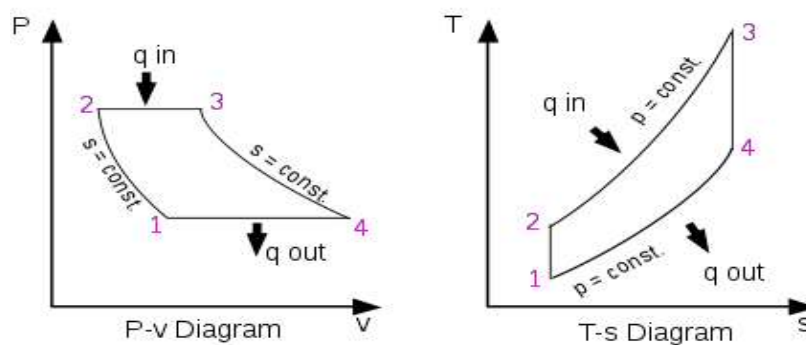
II. METODE PENELITIAN

Biaya operasi suatu pembangkit khususnya biaya bahan bakar adalah biaya yang terbesar dari suatu perusahaan listrik sehingga perlu digunakan teknik-teknik untuk menekan biaya ini. Teknik-teknik optimasi yang dilakukan antara lain, melakukan perhitungan efisiensi, *specific fuel consumption* dan *heat rate*, serta pemeliharaan yang dilakukan secara periodik. Sehingga unit pembangkit dapat beroperasi dengan efisien dan dapat memenuhi kebutuhan listrik konsumen. Sebelum melakukan perhitungan, dilakukan studi literatur permasalahan yang terjadi pada pembangkit, selanjutnya melakukan pengumpulan data pengoperasian turbin gas blok 1 UJJP Priok yaitu pada bulan Maret s/d April 2018. Setelah melakukan pengumpulan data, barulah

mencari variasi pola pembebanan pada PLTG Priok blok 1 GT 1.1, GT 1.2, GT 1.3 yang terbaik, dengan menentukan beberapa pola beban untuk setiap penggunaan bahan bakar, pada beban 360 MW digunakan 3 pola beban sedangkan pada beban 330 MW dan 360 MW digunakan 6 pola beban. Penentuan pola pembebanan ini dilakukan pada dua kondisi yaitu pada saat penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas) dan pada saat PLTG menggunakan bahan bakar gas saja. Selanjutnya dari pola pembebanan tersebut dihitung nilai *heat rate*, *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan efisiensi *thermal* berdasarkan pada ASTM PTC-22 Tahun 2005, selanjutnya dilakukan perhitungan biaya operasi (cost/kWh). Data-data operasi dan data spesifik turbin gas untuk analisa diambil dari suatu perusahaan pembangkit tenaga listrik yang dijadikan objek penelitian. Berikut ini beberapa parameter yang digunakan dalam memperhitungkan performa turbin gas antara lain:

2.1 Siklus Brayton

Siklus ideal untuk kerja turbin gas adalah siklus brayton. Siklus ini terdiri atas dua proses adiabatik maupun balik menjadi isentropik dan dua proses tekanan tetap. Udara atmosfer dikompresikan oleh kompresor sehingga terjadi perubahan tekanan dari P_1 ke P_2 dan kemudian mengalirkannya ke ruang bakar dimana di dalamnya di injeksikan bahan bakar sehingga dengan adanya suhu dan tekanan ruang bakar maka terjadilah pembakaran. Pembakaran terjadi pada tekanan konstan P_2 sistem pada pembangkit turbin gas yang sesuai dengan siklus brayton dapat dilihat pada gambar dibawah ini [6].



Gambar 2.1 P-v Diagram dan T-s Diagram[7]

Rumus dibawah didapatkan dari *e-book* M. P. Boyce, 2012 [7]

Proses 1-2, Kompresi isentropik pada kompresor.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{(k-1)}{k}} \quad [1]$$

Proses 2-3, Pembakaran isobarik,

$$h_3 = C_p \times T_3 \quad [2]$$

Persamaan untuk menghitung panas masuk ruang bakar (Q_{in})

$$Q_{in} = LHV \left[\frac{kJ}{kg}\right] \times m_{bb} \left[\frac{kg}{s}\right] \quad [3]$$

Proses 3-4, Ekspansi isentropik didalam turbin,

Persamaan untuk menghitung temperatur keluar turbin

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{(k-1)}{k}} \quad [4]$$

Persamaan untuk menghitung kerja turbin (W_t)

$$W_t = (m_u + m_{bb}) \left[\frac{kg}{s}\right] \times (h_3 - h_4) \left[\frac{kJ}{kg}\right] \quad [5]$$

2.2 Kerja Kompresor dan Kerja Turbin

Kerja kompresor persatuan massa dapat dinyatakan dengan rumus dibawah, dimana m adalah laju aliran massa [8].

$$W_k = m_u \left[\frac{kg}{s} \right] \times (h_2 - h_1) \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad [6]$$

Kerja bersih dari turbin gas tersebut merupakan selisih antara kerja turbin (persamaan 2.6) dan kerja kompresor. Dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut [8]:

$$W_{netto} = W_t - W_k \quad [7]$$

2.3 Efisiensi Termal

Efisiensi adalah usaha yang dihasilkan dibagi usaha yang diperlukan atau daya yang didapat dibagi daya yang telah dikeluarkan. Efisiensi termal pembangkit tenaga listrik, energi listrik yang dihasilkan dibagi jumlah bahan bakar yang digunakan [8].

$$\eta_{th} = \frac{W_{netto} \left[\frac{kJ}{s} \right]}{Q_{in}} \times 100\% \quad [8]$$

2.4 Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan rasio perbandingan total konsumsi bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan listrik satu satuan daya dalam satu satuan waktu (kg/kWh), biasanya digunakan sebagai salah satu cara untuk mengetahui seberapa efisien sebuah pembangkit listrik untuk memprediksi nilai kalor bahan bakar yang digunakan untuk pembakaran [9].

$$SFC = \frac{m_{bb} \left[\frac{kg}{s} \right]}{W_{netto} \left[\frac{kJ}{s} \right]} \quad [9]$$

2.5 Heat Rate

Heat rate merupakan jumlah kalor bahan bakar yang dihitung berdasarkan Low Heating Value (LHV) untuk menghasilkan listrik 1 kWh. Heat rate turbin gas dapat ditentukan dengan persamaan berikut [8]:

$$HR = SFC \left[\frac{kg}{kWh} \right] \times LHV \left[\frac{kJ}{kg} \right] \quad [10]$$

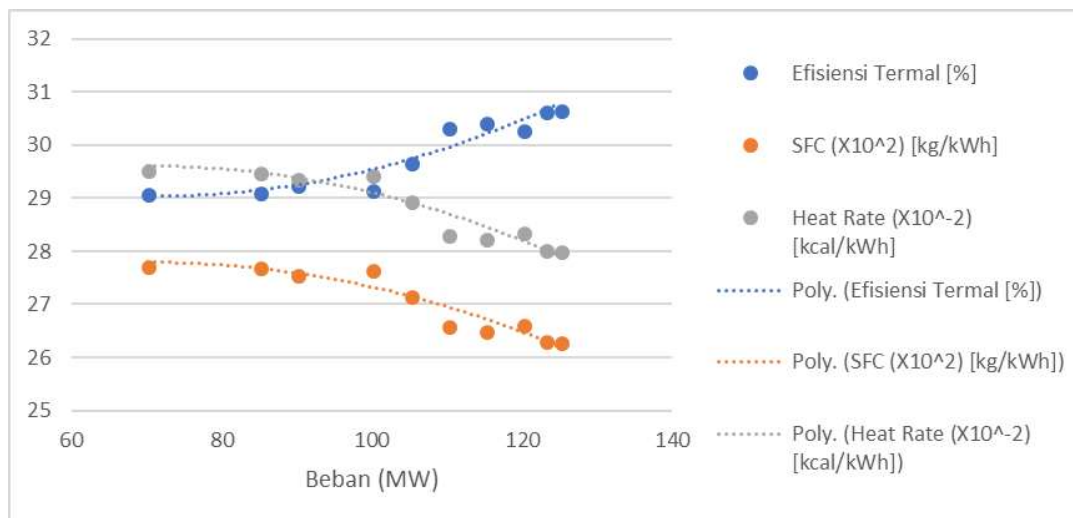
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa Performa Turbin Gas

Berdasarkan hasil perhitungan data aktual PLTG Priok Blok 1 GT 1.1, didapatkan nilai efisiensi termal, *specific fuel consumption* (sfc) dan *heat rate* pada masing-masing beban.

Tabel 3.1 Efisiensi Termal, SFC dan *Heat Rate* pada masing-masing beban

Load (MW)	Efisiensi Termal (%)	SFC (kg/kWh)	Heat Rate (kcal/kWh)
70	29,09318	0,27744	2955,48747
85	29,13290	0,27707	2951,45762
90	29,26921	0,27578	2937,71281
100	29,18206	0,27660	2946,48547
105	29,69766	0,27180	2895,33011
110	30,34067	0,26604	2833,96909
115	30,43746	0,26519	2824,95757
120	30,30683	0,26633	2837,13335
123	30,66617	0,26321	2803,88845
125	30,67926	0,26310	2802,69218



Gambar 3.1 Grafik pengaruh beban terhadap Efisiensi Termal, SFC dan *Heat Rate*

Dalam pengoperasian sistem tenaga listrik harus selalu diusahakan agar daya yang dibangkitkan sama dengan permintaan daya pada sistem. Perubahan permintaan daya pada sistem tenaga listrik didasari oleh rutinitas dan perilaku konsumen yang umumnya selalu berulang sehingga akan berpengaruh langsung terhadap konsumsi tenaga listrik. Oleh karenanya, besar kecilnya beban serta perubahannya tergantung kepada kebutuhan para konsumen akan tenaga listrik.

Besarnya nilai efisiensi termal dipengaruhi oleh panas masuk dan panas keluar yang dilihat pada T-s *diagram* siklus brayton. Berdasarkan *trendline* grafik diatas, terlihat bahwa semakin bertambahnya beban atau daya yang dibangkitkan oleh generator sinkron maka semakin tinggi efisiensi termal. Hal tersebut

dipengaruhi oleh laju aliran massa karena pada beban yang lebih tinggi bukaan *inlet guide vane* semakin besar sehingga rasio kompresi udara juga semakin tinggi. Sesuai dengan diagram siklus brayton, semakin tinggi rasio kompresi maka nilai kerja dari turbin dan kompresor juga semakin besar. Sehingga energi input yang dibutuhkan untuk memutar turbin gas makin optimal.

Berbeda dengan efisiensi termal, konsumsi spesifik bahan bakar akan semakin rendah seiring dengan bertambahnya beban yang dibangkitkan. Terlihat pada grafik, spesifik konsumsi bahan bakar terbaik berada pada beban puncak 125 MW yaitu 0,26310 kg/kWh. Artinya, semakin tinggi beban yang dibangkitkan maka energi input yang dibutuhkan akan semakin optimal. Sehingga penggunaan bahan bakar untuk setiap kWh nya semakin sedikit.

Sama halnya dengan konsumsi spesifik bahan bakar, jumlah kalor dari bahan bakar yang ditambahkan untuk menghasilkan listrik sebesar 1 kWh akan semakin menurun setiap penambahan beban operasi. *Heat rate* bahan bakar terbaik berada pada beban puncak 125 MW yaitu 2802,69218 kcal/kWh. *Heat rate* berbanding terbalik dengan efisiensi termal, artinya semakin rendah maka akan semakin baik.

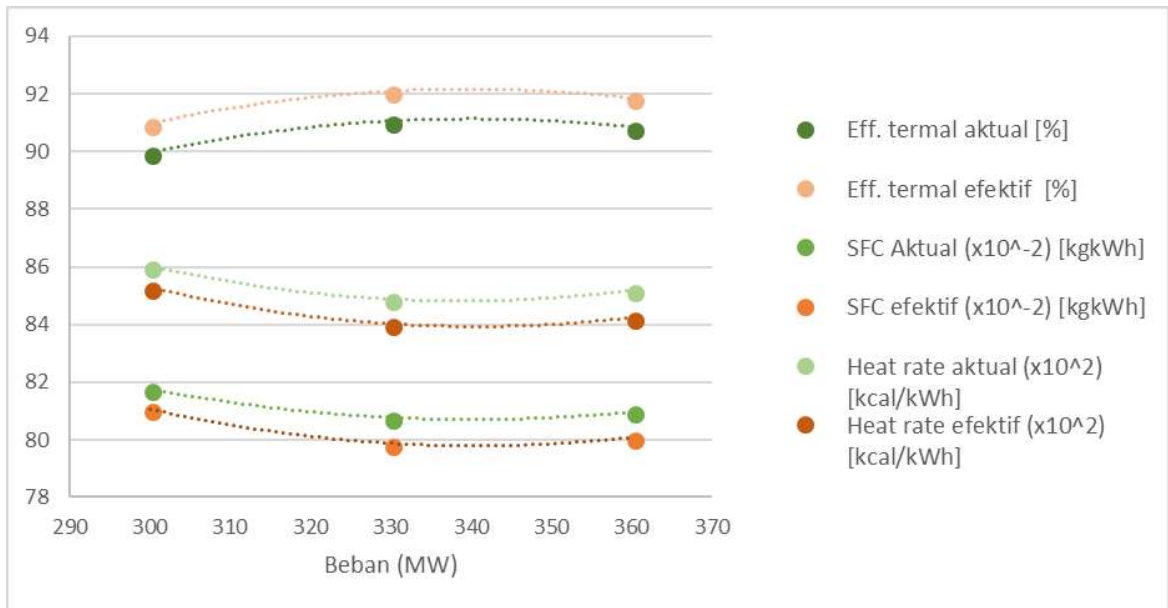
3.2 Analisis Pengaruh Penambahan Beban Operasi Terhadap Efisiensi *Thermal*, SFC dan *Heat Rate*

Tabel 3.2 Pola pembebanan efektif

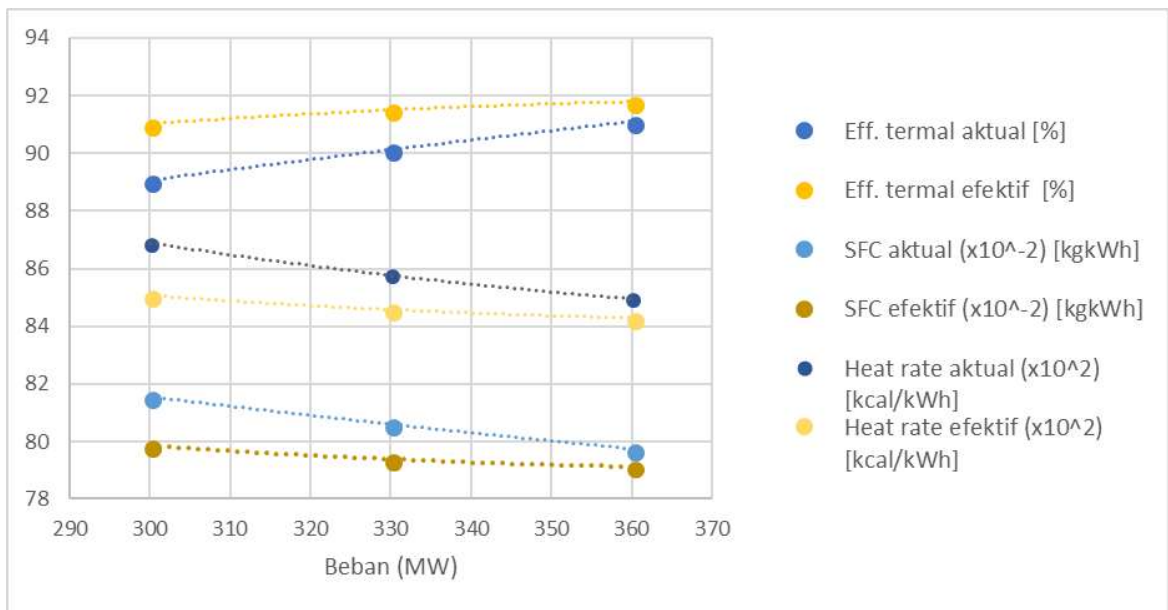
Total Pembebanan	Pola Pembebanan Efektif (HSD – Gas)			Pola Pembebanan Efektif (Full Gas)		
	GT 1.1	GT 1.2	GT 1.3	GT 1.1	GT 1.2	GT 1.3
360 MW	123	115	122	123	115	122
330 MW	115	100	115	110	120	100
300 MW	90	120	90	78	125	78

Tabel 3.3 Perbandingan keluaran aktual efisiensi *thermal*, SFC dan *heat rate* dengan hasil optimalisasi

Parameter	Unit	Bahan Bakar HSD & Gas			Bahan Bakar <i>Full Gas</i>		
		360 MW	330 MW	300 MW	360 MW	330 MW	300 MW
<i>Eff thermal</i> aktual	%	90,848	91,066	89,978	91,106	90,127	89,078
<i>Eff thermal</i> efektif		91,853	92,099	90,769	91,795	91,507	91,027
Selisih <i>eff. thermal</i>		1,0056	1,0327	0,7904	0,6889	1,3796442	1,94902084
SFC aktual	kg/kWh	0,80980	0,80780	0,81776	0,79759	0,80608	0,81568
SFC efektif		0,80092	0,79889	0,81079	0,79140	0,79399	0,79858
Selisih SFC		0,00888	0,00893	0,00696	0,00618	0,01209	0,01709
<i>Heat rate</i> aktual	kcal/kWh	8519,603	8488,487	8604,022	8496,341	8576,847	8689,063
<i>Heat rate</i> efektif		8425,146	8403,038	8530,223	8430,495	8506,959	8506,959
Selisih <i>Heat rate</i>		94,458	85,449	73,798	65,845	118,815	182,103



Gambar 3.2 Grafik Efisiensi Termal, SFC, *Heat Rate* dengan bahan bakar HSD & Gas terhadap beban sebelum dan setelah optimasi



Gambar 3.3 Grafik Efisiensi Termal, SFC, *Heat Rate* dengan bahan bakar Full Gas terhadap beban sebelum dan setelah optimasi

Berdasarkan hasil perhitungan dan penentuan pola pembebanan pada beban 360 MW digunakan 3 pola beban serta pada beban 330 MW dan 360 MW digunakan 6 pola beban, didapatkan hasil pola operasi paling efektif dan efisien (tabel 3.2) pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas), yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW,

330 MW dengan pola beban 115 MW - 100 MW - 115 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 120 MW - 90 MW. Pada kondisi penggunaan bahan bakar full gas didapatkan pola beban paling efisien dan efektif yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 110 MW - 120 MW - 100 MW dan pada beban 300 MW dengan pola beban 90 MW - 100 MW - 90 MW.

Pada grafik diatas, menunjukkan nilai efektifitas dari beban operasi pembangkit yang didasarkan dari pola pembebanan pada tabel 3.2. Grafik 3.2 terlihat bahwa pada beban 360 MW dengan penggunaan dua jenis bahan bakar yaitu HSD dan Gas, efisiensi termal aktual sebesar 90,848 % setelah dilakukan optimalisasi dengan pembagian pola beban pada GT 1.1, GT 1.2 dan GT 1.3 didapatkan efisiensi termal yang lebih tinggi yaitu 91,853 %. Sehingga efisiensi termal yang ditingkatkan yaitu 1,0056 %. Dari peningkatan efisiensi termal tersebut, pembangkit dapat menurunkan jumlah spesifik konsumsi bahan bakar dari 0,80980 kg/kWh menjadi 0,80092 kg/kWh dan menurunkan jumlah *heat rate* bahan bakar dari 8519,603 kcal/kWh menjadi 8425,146 kcal/kWh.

Sedangkan *trendline* yang ditunjukkan grafik 3.3, pada beban 360 MW dengan penggunaan bahan bakar *full gas*, efisiensi termal aktual sebesar 91,106 % setelah dilakukan optimalisasi dengan pembagian pola beban pada GT 1.1, GT 1.2 dan GT 1.3 didapatkan efisiensi termal yang lebih tinggi yaitu 91,798 %. Sehingga efisiensi termal yang ditingkatkan yaitu 0,6889 %. Dari peningkatan efisiensi termal tersebut, pembangkit dapat menurunkan jumlah spesifik konsumsi bahan bakar dari 0,79759 kg/kWh menjadi 0,79140 kg/kWh dan menurunkan jumlah *heat rate* bahan bakar dari 8496,341 kcal/kWh menjadi 8430,495 kcal/kWh.

3.3 Efisiensi Biaya Operasi Pembangkit

Dengan melakukan perhitungan pada beberapa variasi pola pembebanan, hasil perhitungan biaya bahan bakar setiap jamnya pada beban puncak hingga beban rendah ditampilkan pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Efisiensi *fuel cost* pembangkit

Beban (MW)	HSD dan Gas			Full Gas		
	<i>Fuel cost</i> aktual (Rp./jam)	Penurunan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)	Penghematan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)	<i>Fuel cost</i> aktual (Rp./jam)	Penurunan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)	Penghematan <i>fuel cost</i> (Rp./jam)
360	606.429.025	597.279.638	9.149.387	526.408.454	522.362.955	4.045.499
330	554.797.352	542.917.537	11.879.814	487.681.282	479.967.672	7.713.610
300	525.421.237	518.280.116	7.141.120	463.392.468	438.259.545	25.132.922
Harga		HSD = Rp. 7700		Gas = Rp. 5500		

Pada tabel diatas, dapat diketahui biaya operasi yang dapat dihemat PLTG blok 1 Priok pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas). Pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya operasi setiap jam-nya sebesar Rp. 9.149.387, pada beban 330 MW penghematannya sebesar Rp. 11.879.814 dan pada 300 MW sebanyak Rp 7.141.120. Sedangkan biaya operasi yang dapat dihemat dengan penggunaan bahan bakar *full gas* yaitu pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya sebanyak Rp. 4.045.499, pada beban 330 MW sebanyak Rp. 7.713.610, dan pada saat beban 300 MW penghematan biaya sebanyak Rp. 25.132.922.

IV. KESIMPULAN

1. Semakin besar beban operasi yang dihasilkan pembangkit maka akan semakin tinggi pula efisiensi termal yang dihasilkan sehingga konsumsi spesifik bahan bakar dan jumlah kalor bahan bakarnya akan semakin optimal.
2. Pola operasi paling efektif dan efisien pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas), yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 115 MW - 100 MW - 115 MW, 300 MW dengan pola beban 90 MW - 120 MW - 90 MW. Sementara pada kondisi penggunaan bahan bakar full gas didapatkan pola beban paling efisien dan efektif yaitu pada beban 360 MW dengan pola beban 123 MW - 115 MW - 122 MW, 330 MW dengan pola beban 110 MW - 120 MW - 100 MW dan pada beban 300 MW dengan pola beban 90 MW - 100 MW - 90 MW.
3. Biaya operasi yang dapat dihemat PLTG blok 1 Priok pada saat kondisi keterbatasan bahan bakar dengan penggunaan dua jenis bahan bakar (HSD dan Gas). Pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya operasi setiap jamnya sebesar Rp. 9.149.387, pada beban 330 MW penghematannya sebesar Rp. 11.879.814 dan pada 300 MW sebanyak Rp 7.141.120. Sedangkan biaya operasi yang dapat dihemat dengan penggunaan bahan bakar *full* gas yaitu pada beban 360 MW didapatkan penghematan biaya sebanyak Rp. 4.045.499, pada beban 330 MW sebanyak Rp. 7.713.610, dan pada saat beban 300 MW penghematan biaya sebanyak Rp. 25.132.922.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. P. Stephanie Rizka, R. Amien. "Evaluasi Operasi Pembangkitan Tenaga Listrik Pada PT. Cikarang Litrindo menggunakan Metode *Lagrange Multiplier*," Depok: Universitas Indonesia. 2013.
- [2] Nusyirwan, "Manajemen Pembangkit Tenaga Listrik.," Jakarta, 2010.
- [3] Siswanto, Marno, "Mengoptimalkan Pembagian Beban Pada Unit Pembangkit PLTGU Tambak Lorok Dengan Metode *Lagrange Multiplier*," Semarang: UNDIP, 2011.
- [4] Setiawan, Risna Adit. Analisis Optimasi Pembagian Beban Dengan Menggunakan Metode *Dynamic Programming* Pada Pembangkit Di Muara Karang. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia, 2015.
- [5] Sari, Nevy Ervinia, "Optimasi Penggunaan Bahan Bakar Unit PLTGU Dengan Menggunakan Model *Fuzzy Goal Programming* Studi Kasus Di PT PJB Gresik," Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2011.
- [6] UDIKLAT PT PLN (PERSERO), "Pengoperasian PLTGU," 2007.
- [7] M. P. Boyce, "*Gas Turbine Engineering Handbook Fourth Edition*," 2012.
- [8] ASME PTC-22, "*Performance Test Code on Gas Turbine*," 2005.
- [9] M. J. Moran, "*Fundamental of Engineering Thermodynamics 5th Edition*," 2006.

**STUDI VIBRASI PADA INDUCED DRAFT FAN
DI PLTU INDRAMAYU UNIT 1**

Friska Yustika¹, Kamilia Putri¹, Benhur Nainggolan¹, P. Jannus¹

Jurusan Teknik mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Kampus Baru UI Depok, 16425, Indonesia,

Telp: (62-21) 7863530 / (62)85697783367, Fax: (62-21) 7863530

friskayustika97@gmail.com

Abstrak

Induced Draft Fan berfungsi untuk menghisap gas dan abu sisa pembakaran pada boiler yang selanjutnya akan dibuang melalui *stack*. Sebagai komponen penting yang selalu aktif beroperasi, seringkali muncul gangguan ataupun permasalahan timbul pada ID *Fan* diantaranya adalah masalah overvibrasi. Overvibrasi merupakan masalah mesin berupa getaran berlebih yang tidak dikehendaki dan dapat merusak komponen mesin tersebut. Oleh sebab itu penulis tertarik untuk melakukan studi vibrasi pada *Induced Draft Fan* dengan mengolah data luaran alat ukur yang kemudian akan menyimpulkan apakah masalah vibrasi yang terjadi pada *Induced Draft Fan* di PLTU Indramayu sudah sesuai dengan ketentuan ISO atau standar vibrasi suatu mesin. Metode yang digunakan ialah berupa pengambilan data secara langsung menggunakan alat pengukur vibrasi bernama *CSI 2140 Machinery Health Analyzer* dan melalui pengukuran tersebut akan terbentuk spectrum yang akan mengindikasikan masalah yang menyebabkan timbulnya over vibrasi.

Hasil inspeksi menunjukkan bahwa vibrasi yang terjadi pada motor *outboard aksial* di ID *Fan* PLTU Indramayu pada bulan September 2017 ada pada angka sebesar 5.09 mm/s, dan saat dibandingkan dengan standar *ISO 10816-3* angka tersebut sudah memasuki zona C yang berarti sudah menandakan tanda “peringatan” untuk penggunaan mesin ID *Fan* tersebut. Selain itu spectrum yang terbentuk dari data hasil pengukuran pada bulan September 2017 juga menunjukkan bahwa terdapat indikasi kerusakan bearing pada motor inboard axial di ID *Fan* PLTU Indramayu. Kemudian saat proses running setelah penggantian bearing, pada tanggal 28 Desember 2017 terjadi lonjakan vibrasi hingga mencapai angka 8.015 mm/s. Setelah di interpretasikan angka tersebut dengan spectrum vibrasi disimpulkan bahwa terjadi *unbalance* sehingga dilakukan proses balancing yang dapat menurunkan nilai vibrasi menjadi 4.926 mm/sec.

Kata Kunci : *Induced Draft Fan* (ID *Fan*), Over-vibrasi, *Fan unbalance*

Abstract

Induced Draft Fan has a function to suck the gas and ash residual burning on the boiler which will then be removed through the stack. As an important component which always active to operate, often appear interruption or problems arise in ID *Fan* such as overvibration problem. Overvibration is an engine problem due to unwanted excessive vibrations which can damage the engine components. Therefore, the writer is interested to conduct a vibration study on *Induced Draft Fan* by processing the output data of measuring instrument which will then conclude whether the vibration problem that happened on the *Induced Draft Fan* in PLTU Indramayu is in accordance with the provision of ISO or vibration standard of a machine or not. The method used is in the form of data retrieval directly using a vibration measuring device called *CSI 2140 Machinery Health Analyzer* and through the measurement will form a spectrum that will indicate the problem causing over vibration.

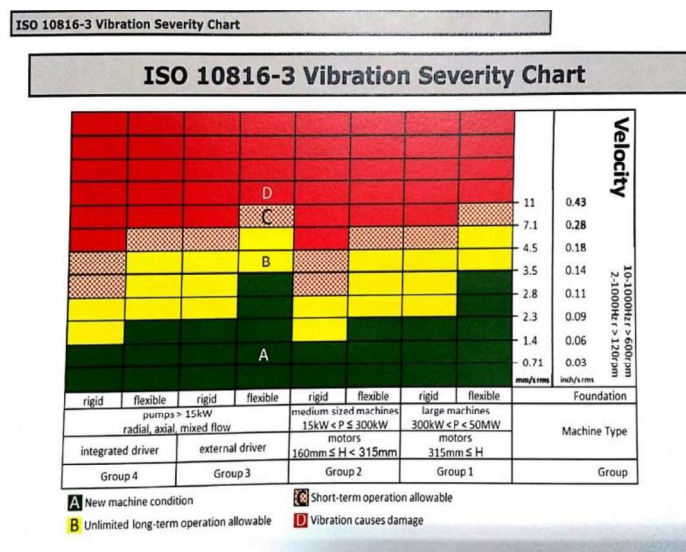
The inspection results show that the vibration that occurs in the axial outboard motors in the Indramayu PLTU *Fan* ID in September 2017 is of 5.09 mm / s, and when compared to the *ISO 10816* standards it has entered C zone which means it has warning level machine. In addition, the spectrum formed from the measurement data in September 2017 also shows that there is an indication of bearing damage on the inboard axial motor in ID *Fan* PLTU Indramayu. Then during the process of running after the replacement of bearings, on December 28, 2017 there was a spike of vibration reaching 8,015 mm / s. After interpreting the figure with vibrational spectrum concluded that there is *unbalance* so that balancing process can be done that can decrease the vibration up to 4,926 mm / sec.

Keyword : *Induced Draft Fan*, Over-vibration, *Fan unbalance*

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu industri dimana terdapat berbagai macam proses produksi yang menggunakan mesin yang beraneka macam termasuk untuk industri pembangkit yang banyak menggunakan komponen mesin yang selalu berputar dalam jangka waktu yang berkepanjangan. Namun pada umumnya mesin industri, terdapat ketidakseimbangan gaya-gaya. Selain ketidakseimbangan yang terjadi pada elemen berputar, getaran mungkin saja disebabkan oleh ketidaksetabilan media/fluida yang mengalir melalui mesin tersebut [1]. Adapun gangguan yang sering terjadi pada mesin-mesin *rotary* diantaranya adalah gangguan vibrasi. Amplitudo vibrasi lama kelamaan dapat semakin besar, sehingga perlu dimonitor jangan sampai overvibrasi. Vibrasi secara sederhana berarti gerakan mesin atau bagiannya bolak-balik dari posisi diamnya. Jika suatu massa digantung pada sebuah pegas yang salah satu ujungnya melekat, kemudian dikenakan sedikit dorongan (kecepatan awal), kemudian dibiarkan bergerak, maka massa tersebut akan bergerak turun naik dengan simpangan yang menyerupai fungsi sinusoida [2].

ID Fan sendiri berfungsi sebagai komponen yang menyedot udara dari dalam boiler keluar menuju cerobong dan menghasilkan tekanan negatif pada boiler [4]. Komponen ini selalu beroperasi dalam secara terus menerus sehingga tidak dapat dihindari bila terjadi gangguan yang akan mengganggu proses operasi mesin tersebut dan salah satu yang gangguan yang terjadi diantaranya adalah *over vibrasi*. Terdapat beberapa factor yang menyebabkan munculnya *over vibrasi* pada komponen *Induce Draft Fan* diantaranya seperti ketidakseimbangan poros (*unbalance*), ketidaksejajaran poros (*missalignment*), kerusakan pada bearing dan masalah kelistrikan [3]. Adapun standar vibrasi yang digunakan adalah ISO 10816-3 [5] seperti pada gambar 1.1



Gambar 1.1 Standar ISO 10816-3

Keterangan:

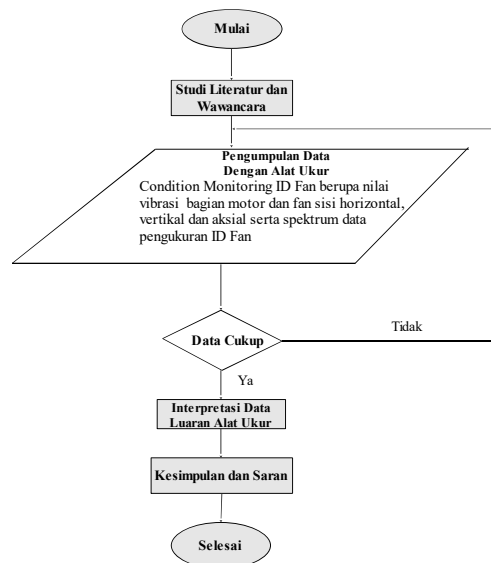
- A: kondisi vibrasi normal
- B: kondisi vibrasi yang masih diijinkan (operasi jangka panjang)
- C: kondisi vibrasi yang masih diijinkan (operasi jangka pendek)
- D: kondisi vibrasi yang dapat menyebabkan kerusakan

Adapun tujuan dan manfaat dari tugas akhir ini adalah untuk melakukan interpretasi data luaran alat ukur dan kemudian akan menyimpulkan masalah vibrasi yang terjadi pada *Induced Draft Fan* di PLTU Indramayu sudah sesuai dengan ketentuan ISO atau standar vibrasi suatu mesin.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir

Metode penelitian merupakan proses mendapatkan data yang digunakan untuk analisis teoritis yang diperlukan. Secara sistematis langkah-langkah penelitian sebagaimana pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Alir Metode Penelitian

2.2 Alat Penelitian

Dalam proses pengambilan data pada suatu mesin dibutuhkan alat-alat penunjang untuk memudahkan proses pengukurannya termasuk dalam proses pengukuran vibrasi pada mesin *Induced Draft Fan*. Untuk mendapatkan data yang dibutuhkan, Adapun alat-alat yang digunakan diantaranya:

1. CSI 2140 *Machinery Health Analyzer* (*analyzer* berfungsi untuk mengukur *amplitude* dan frekuensi getaran yang akan dianalisa) Tampilan *CSI Machinery Health Analyzer* dapat dilihat pada Gambar 2.2.
2. Senter;
3. Alat Tulis;
4. Lembar Cross Phase untuk pengambilan data cross phase;
5. Safety APD dan IK.



Gambar 2.2 CSI 2140 Machinery Health Analyzer

2.3 Prosedur Penelitian

Metode Pengukuran yang dilakukan dengan cara pengambilan data vibrasi pada titik-titik pengukuran yang terdapat di setiap peralatan (Motor Outboard Horizontal, Motor Outboard Vertikal, Motor Outboard Axial, Motor Inboard Horizontal, Motor Inboard Vertikal, Motor Inboard Axial, Fan Inboard Horizontal, Fan Inboard Vertikal, Fan Inboard Axial). Parameter yang digunakan berdasarkan history peralatan dan mengacu pada ISO 10816-3.

2.3.1 Adapun urutan operasional CSI 2140 seperti berikut;

1. Hidupkan tombol start, cek kondisi memory dan baterai pada CSI 2140 *Machinery Health Analyzer*, apabila kondisi low, maka *charge* terlebih dahulu hingga penuh;
2. Masukan database peralatan (load data) yang akan diambil data vibrasi dari software AMS
3. Cek database yang telah dimasukan ke *analyzer*;
4. Siapkan kabel sensor serta adapter;
5. Cek kekencangan shoulder strap;
6. Pilih root management , pilih area, pilih equipment yang akan diukur;
7. Pasang sensor accelerometer ke adapter yang terpasang di *CSI 2140 Machinery Health Analyzer*;
8. Persiapan untuk menempatkan sensor ke titik pengukuran.

2.3.2 Pelaksanaan Pengambilan Data

1. Informasikan kepada operator atau penanggung jawab local sebelum pengambilan data getaran. Untuk pengambilan rutin pada mesin yang sudah beroperasi dapat dilakukan tanpa memberitahu operator;
2. Catat kondisi operasi mesin;
3. Pastikan permukaan peralatan bersih dan usahakan agar sensor tidak bergoyang/bergeser;
4. Tempatkan accelerometer yang dilekatkan dengan magnet pada tempat pengambilan data yang sesuai dengan titik pengukuran;
5. Ambil data vibrasi, sesuai titik pengukuran pada posisi yang ada pada induced draft fan;
6. Catat kondisi yang mengalami permasalahan;
7. Ulangi prosedur untuk sisa titik pengambilan lain pada peralatan;
8. Data vibrasi yang sudah diperoleh segera dimasukan ke computer untuk dilakukan analisa.

Data hasil pengukuran vibrasi rentang bulan September 2017-Mei 2018 pada mesin Induced Draft Fan meliputi bagian motor *inboard* dan *outboard* sisi horizontal, vertical dan aksial serta bagian fan sisi horizontal, vertical dan aksial. Adapun data hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Data Hasil Pengukuran Nilai Vibrasi Induced Draft Fan

Tanggal	Jumlah Putaran (RPM)	Amplitudo (mm/s)			Amplitudo (mm/s)			Amplitudo (mm/s)		
		Motor 1 (in)			Motor 2 (out)			Fan		
		Horizontal	Vertikal	Aksial	Horizontal	Vertikal	Aksial	Horizontal	Vertikal	Aksial
6-Sep-17	745	0.657	0.503	4.021	0.706	0.954	5.09	1.057	0.558	1.857
11-Sep-17	745	0.706	0.252	2.082	0.683	0.428	2.996	1.183	0.591	1.649
12-Sep-17	745	0.613	0.318	3.738	0.662	0.667	4.675	0.845	0.24	1.047
13-Sep-17	745	0.779	0.235	2.533	0.844	0.391	2.709	1.188	0.76	1.864
14-Sep-17	745	0.791	0.69	4.051	0.837	0.632	3.941	1.256	0.734	1.39
15-Sep-17	745	0.878	0.721	4.468	0.894	1.152	4.983	1.187	0.844	1.67
16-Sep-17	745	0.846	0.266	2.387	0.919	0.384	2.171	1.172	0.618	1.302
17-Sep-17	745	0.805	0.541	3.55	0.868	0.448	3.695	1.257	0.572	1.304
18-Sep-17	745	0.693	0.28	2.236	0.721	0.429	2.626	0.942	0.955	1.364
19-Sep-17	745	0.712	0.263	3.434	0.715	0.49	3.879	1.173	0.559	1.504
21-Sep-17	745	0.798	0.3	2.856	0.781	0.401	3.374	1.057	1.194	1.534
25-Sep-17	745	0.697	0.324	4.229	0.808	0.524	4.925	1.128	0.626	1.64
28-Sep-17	745	0.8	0.229	1.783	0.73	0.464	1.851	1.088	0.675	1.366
1-Oct-17	745	0.865	0.363	4.471	0.958	0.673	4.763	0.975	0.951	1.792
9-Oct-17	745	0.742	0.341	3.667	0.865	0.398	3.935	1.169	0.68	1.383
16-Oct-17	745	0.577	0.294	3.182	0.792	0.45	2.892	1.215	0.647	1.395
20-Oct-17	745	0.574	0.567	3.386	0.75	0.542	3.523	1.134	0.599	1.885
28-Oct-17	745	0.585	0.448	3.202	0.767	0.679	2.787	0.883	0.227	1.722
12-Nov-17	745	0.613	0.325	3.821	0.896	0.617	3.557	1.181	0.258	2.145
28-Dec-17	745	1.307	0.513	1.008	1.289	0.465	2.063	8.015	3.489	2.688
29-Dec-17	745	0.874	0.566	1.049	0.905	0.416	1.474	7.511	3.541	2.123
30-Dec-17	745	0.789	0.446	0.646	0.834	0.363	1.112	4.926	2.508	1.173
3-Jan-18	745	1.052	0.387	0.645	1.014	0.51	1.391	5.064	2.136	1.933
8-Jan-18	745	1.394	0.527	0.591	1.135	0.633	1.337	4.551	2.151	1.672
13-Jan-18	745	1.161	0.512	0.526	0.976	0.392	1.145	4.608	3.023	2.439
5-Feb-18	745	1.221	0.431	0.626	1.054	0.633	1.496	4.559	2.634	2.79
10-Feb-18	745	1.295	0.546	0.604	1.127	1.211	1.259	4.935	2.84	2.94
17-Feb-18	745	1.458	0.456	0.75	1.278	0.42	1.567	5.626	3.152	2.812
26-Feb-18	745	1.242	0.519	0.74	1.085	0.629	1.495	4.834	2.967	2.988
3-Mar-18	745	1.333	0.43	0.683	1.044	0.624	1.45	5.29	1.856	3.321
16-Mar-18	745	1.046	0.441	0.608	0.972	0.726	1.297	4.854	2.674	2.738
21-Mar-18	745	1.193	0.448	0.61	1.212	0.598	1.252	5.001	2.144	3.427
26-Mar-18	745	1.221	0.484	0.66	1.098	0.903	1.278	5.227	1.896	3.212
2-Apr-18	745	1.989	0.561	0.863	1.555	1.106	1.589	5.73	2.602	2.662
6-Apr-18	745	1.64	0.426	0.783	1.153	0.537	1.711	6.588	2.581	3.61
7-Apr-18	745	1.194	0.568	0.647	1.258	0.523	1.712	6.377	2.22	3.968
8-Apr-18	745	1.082	0.616	0.75	1.142	0.615	1.627	6.625	2.471	4.587
9-Apr-18	745	1.502	0.776	0.737	1.324	0.706	1.314	6.733	3.242	3.789
10-Apr-18	745	1.682	0.521	1.011	1.368	0.598	1.707	6.784	3.141	4.165
11-Apr-18	745	1.238	0.533	0.798	1.221	0.608	2.055	8.477	7.279	3.529
16-Apr-18	745	0.588	0.295	0.649	0.546	0.291	1.134	2.03	2.7	1.587
17-Apr-18	745	0.709	0.416	0.629	0.83	1.047	1.715	2.578	1.691	1.67
23-Apr-18	745	0.566	0.267	0.796	0.564	0.533	0.984	0.744	0.401	1.188
4-May-18	745	0.655	0.425	0.651	0.688	0.482	1.27	1.433	0.505	3.024
13-May-18	745	0.762	0.45	0.705	0.561	0.341	0.942	0.913	0.319	1.392

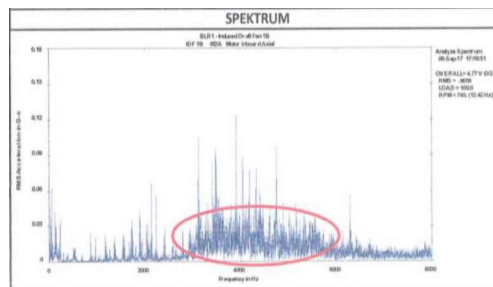
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini adalah data hasil pengukuran nilai vibrasi *Induced Draft Fan* seperti pada tabel berikut:

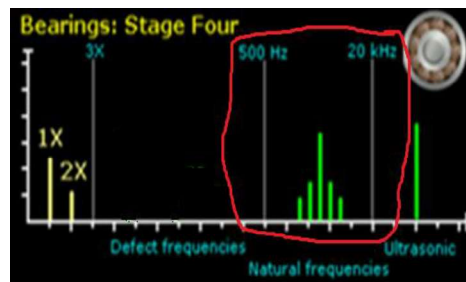
- Pada tanggal 6 September 2017 terjadi peningkatan *over* vibrasi pada *Induced Draft Fan* bagian motor *inboard* sisi aksial. Adapun data hasil pengukurannya seperti pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Pengukuran Nilai Vibrasi 6 September 2017

No	Sisi pengukuran	Amplitudo Hasil Pengukuran (mm/s)	Level ISO 10816-3
1	Motor Outboard Horizontal	0.657	A
2	Motor Outboard Vertikal	0.503	A
3	Motor Outboard Aksial	4.021	B
4	Motor Inboard Horizontal	0.706	A
5	Motor Inboard Vertikal	0.954)	A
6	Motor Inboard Aksial	5.09	C
7	Fan Horizontal	1.057	A
8	Fan Vertikal	0.558	A
9	Fan Aksial	1.857	A



Gambar 3.1 Spektrum Vibrasi 6 September 2017



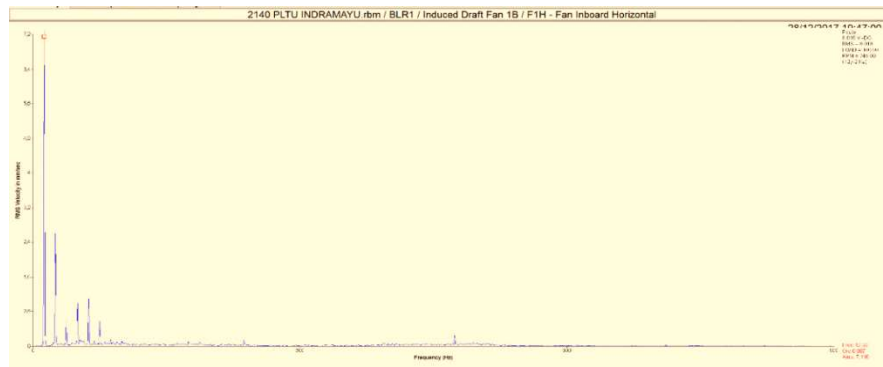
Gambar 3.2 Standar Spektrum Vibrasi “Bearing”

Dalam analisa spectrum (Gambar 3.1) nilai vibrasi pada motor 2 *axial* pada tanggal 6 September 2017 terjadi lonjakan amplitude sebesar 5.09 mm/s pada frekuensi 4000 Hz. Dalam artian Nilai 4000 Hz tersebut memiliki peak sebesar 322x. Sehingga bila data pada spectrum vibrasi (Gambar 3.1) dibandingkan dengan standar spectrum bearing (Gambar 3.2) vibrasi yang terjadi karena adanya indikasi *kerusakan pada bearing*.

- Pada tanggal 28 Desember 2017 terjadi peningkatan *over* vibrasi pada *Induced Draft Fan* bagian fan sisi horizontal. Adapun data hasil pengukurannya seperti pada table 3.2

Tabel 3.2 Data Pengukuran Nilai Vibrasi Desember 2017

No	Sisi pengukuran	Amplitudo Hasil Pengukuran (mm/s)	Level ISO 10816-3
1	Motor Outboard Horizontal	1.307	A
2	Motor Outboard Vertikal	0.513	A
3	Motor Outboard Aksial	1.008	A
4	Motor Inboard Horizontal	1.289	A
5	Motor Inboard Vertikal	0.465	A
6	Motor Inboard Aksial	2.063	A
7	Fan Horizontal	8.015	D
8	Fan Vertikal	3.489	C
9	Fan Aksial	2.688	C



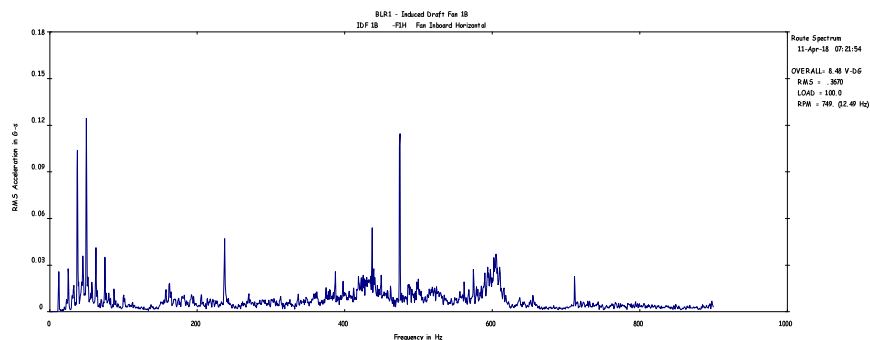
Gambar 3.3 Spektrum Vibrasi 28 Desember 2017

Dalam analisa spectrum (Gambar 3.3) nilai vibrasi pada Fan 2 sisi “Horizontal”, pada tanggal 28 Desember 2017 diakibatkan karena adanya indikasi *Unbalance*, dikarenakan terjadi lonjakan amplitudo pada frekuensi 12.38 Hz. Dalam artian Nilai 12.38 Hz tersebut memiliki peak sebesar 0.997x (kali) yang setara dengan 1x (kali) order. Sehingga untuk mengatasi masalah *unbalance* tersebut maka harus dilakukan proses balancing. Setelah dilakukan proses balancing nilai vibrasi yang sebelumnya berada di angka 8.015 mm/sec turun menjadi 4.926 mm/sec yang berarti dalam standar ISO 10816-3 masih berada dalam level “C”.

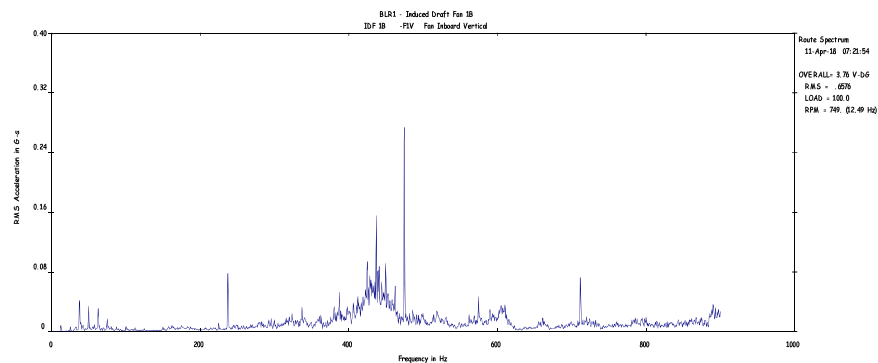
- Pada tanggal 11 April 2018 terjadi peningkatan over vibrasi pada Induced Draft Fan bagian *fan horizontal*. Adapun data hasil pengukurannya seperti pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Data Pengukuran Nilai Vibrasi 11 April 2018

No	Sisi pengukuran	Amplitudo Hasil Pengukuran (mm/s)	Level ISO 10816-3
1	Motor Outboard Horizontal	1.238	A
2	Motor Outboard Vertikal	0.533	A
3	Motor Outboard Aksial	0.798	A
4	Motor Inboard Horizontal	1.221	A
5	Motor Inboard Vertikal	0.608	A
6	Motor Inboard Aksial	2.055	A
7	Fan Horizontal	8.477	D
8	Fan Vertikal	7.279	D
9	Fan Aksial	3.529	B



Gambar 3.4 Spektrum Nilai Vibrasi 11 April 2018 “Sisi Horizontal”



Gambar 3.5 Spektrum Nilai Vibrasi 11 April 2018 “Sisi Vertikal”

Dalam analisa spectrum (Gambar 3.4 dan Gambar 3.5) nilai vibrasi pada *Fan* sisi “Horizontal” dan “Vertikal”, pada tanggal 11 April 2018 diakibatkan karena adanya indikasi kerusakan bearing dan *missalignment*. Hal itu terlihat dari nilai vibrasi dari sisi *Fan horizontal* (8.477 mm/s) dan vertical (7.279 mm/s) berada pada level “D” bila diinterpretasikan dengan ISO 10816-3. Akibat dari tingginya nilai vibrasi tersebut membuat mesin fan menjadi trip atau tidak dapat berfungsi kembali. Berdasarkan analisa yang dilakukan, tingginya nilai vibrasi tersebut yang menyebabkan fan mati mesin.

4. KESIMPULAN

1. Berdasarkan data historis vibrasi pada *Induced Draft Fan* dapat disimpulkan bahwa pada tanggal 6 September 2017 terjadi overvibrasi pada bagian motor 2 aksial dengan nilai sebesar 5.09 mm/sec dan berdasarkan studi interpretasi data melalui analisa spectrum, overvibrasi tersebut diakibatkan “*kerusakan bearing*”.
2. Berdasarkan data historis vibrasi pada *Induced Draft Fan* dapat disimpulkan bahwa pada tanggal 28 Desember 2017 terjadi overvibrasi pada bagian Fan sisi Horizontal dengan nilai sebesar 8.015 mm/sec dan berdasarkan studi interpretasi data melalui analisa spectrum, overvibrasi tersebut diakibatkan “*Unbalance*”.
3. Berdasarkan data historis vibrasi pada *Induced Draft Fan* dapat disimpulkan bahwa pada tanggal 11 April 2018 terjadi overvibrasi pada bagian *Fan* sisi Horizontal dengan nilai sebesar 8.477 mm/sec dan berdasarkan studi interpretasi data melalui analisa spectrum, overvibrasi tersebut diakibatkan “*kerusakan bearing*”.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih atas seluruh dukungan yang telah diberikan oleh kedua orang tua, dosen-dosen dan rekan Jurusan Teknik Mesin PNJ serta kepada seluruh pegawai PT. PJB UBJOM PLTU INDRAMAYU yang telah membantu demi kelancaran penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahrul, Mochammad. 2013. *Analisa Getaran Untuk Mengetahui Tingkat Kerusakan Bearing Mesin Gerinda Duduk* (Skripsi). Malang : Universitas Islam Malang.

- [2] Haryadi, Dr. Ir. 2012. *Modul Pelatihan Analisis Vibrasi*. Bandung : Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Bandung.
- [3] Suwarmin. 2005. *Vibrasi Dalam Predictive Maintenance*. Jakarta: PT. Pembangkitan Jawa Bali
- [4] Kadir, Abdul. 2010. *Pembangkit Tenaga Listrik*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- [5] Mobius Institute. 2016. *Vibration Training Course Book Category I (ISO 10816-3)*, Mobius Institut.

ANALISA PERBEDAAN EFISIENSI ANTARA HRSG 1 DAN HRSG 2 PLTGU CILEGON

Fathur Maulana¹, Dian Riyani², Tatun Hayatun Nufus³, Indra F. Silanegara⁴
^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Beji, Kukusan,
Beji, Kota Depok, Tlp.+6221 7270036, Fax. (021) 7270034,
maufathoer@gmail.com

Abstrak

Kapasitas efisiensi dari peralatan unit pembangkit memiliki nilai efisiensi yang sesuai dengan desain produk. Seiring dengan berjalannya waktu nilai kapasitas dari peralatan unit pembangkit akan relative turun yang disebabkan oleh masa pengoperasian dan maintenance yang dilakukan, sehingga menyebabkan efisiensi dari unit pembangkit turun. Salah satu dari penyebab penurunan efisiensi pada unit pembangkit terjadi pada sistem HRSG. Pada PT. Indonesia Power UJP PLTGU Cilegon terdapat 2 HRSG dengan merk dan jenis yang sama, akan tetapi nilai efisiensi yang diperoleh dari kedua HRSG itu memiliki selisih nilai efisiensi sekitar 4% pada bulan Maret 2018. Dilihat dari data efisiensi tahunan, pada tahun 2015 efisiensi HRSG 1 sebesar 87,35% dan efisiensi HRSG 2 sebesar 85,59% , pada tahun 2016 efisiensi pada HRSG 1 sebesar 86,76% dan efisiensi pada HRSG 2 sebesar 85,24%, pada tahun 2017 efisiensi pada HRSG 1 sebesar 87,54% dan efisiensi HRSG 2 sebesar 85,12%, sedangkan pada tahun 2018 efisiensi pada HRSG 1 sebesar 87,21% dan efisiensi pada HRSG 2 sebesar 84,69%. Penyebab penurunan nilai efisiensi pada HRSG 1 dan HRSG 2 diantaranya yaitu adanya kebocoran pada tube HRSG, penyerapan panas yang tidak maksimal pada salah satu HRSG, heat losses antara exhaust gas turbine dengan inlet HRSG. Tujuan penelitian ini menganalisis penyerapan panas yang tidak maksimal pada HRSG. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan membandingkan antara data efisiensi HRSG di bulan maret 2018 dan data efisiensi HRSG pada beberapa tahun sebelumnya, yang bertujuan untuk mengetahui seberapa besar penurunan efisiensi yang terjadi. Dari hasil perhitungan diperoleh nilai panas masuk yang hampir sama yaitu 1370221763,17 kJ/h untuk HRSG 1 sedangkan 1370226150,97 untuk HRSG 2, tetapi nilai panas yang diserap oleh HRSG 1 sebesar 1198645622019 kJ/h sedangkan panas yang diserap oleh HRSG2 sebesar 1151184244888 kJ/h. selisih penyerapan panas terbesar terjadi pada sistem HP dengan persentase penyerapan panas 59,272% untuk HRSG 1 dan 55,085% untuk HRSG 2. Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perbedaan efisiensi pada kedua HRSG disebabkan oleh perbedaan nilai panas yang masuk dan panas yang diserap oleh system HRSG itu sendiri.

Kata kunci : efisiensi, hrsg, selisih

Abstract

The efficiency capacity of the generating unit equipment has an efficiency value corresponding to the product design. As time goes by the value of the capacity of the generating unit equipment will be relatively decreased due to the operation and maintenance period, thus causing the efficiency of the generating unit to decrease. One of the causes of decreased efficiency in generating units occurs in the HRSG system. At PT. Indonesia Power UJP PLTGU Cilegon has 2 HRSG under the same brand and type, but the efficiency value obtained from both HRSGs has an efficiency difference of about 3% in March 2018. Judging from the annual efficiency data, by 2015 the HRSG 1 efficiency is 87.35% and the HRSG 2 efficiency is 85.59%, in 2016 the efficiency of HRSG 1 is 86.76% and the efficiency of HRSG 2 is 85.24% in 2017 the efficiency of HRSG 1 was 87.54% and the efficiency of HRSG 2 was 85.12%, while in 2018 the efficiency of HRSG 1 was 87.21 and the efficiency in HRSG 2 was 84.69%. Causes of impairment of efficiency on HRSG 1 and HRSG 2 include leakage of HRSG tube, absorption of heat not optimal on one HRSG, heat losses between exhaust gas turbine with HRSG inlet. The purpose of this study analyzed the absorption of heat that is not optimal on HRSG. The method used in this study is to compare the data between HRSG efficiency in March 2018 and HRSG efficiency data in previous years, which aims to find out how much the efficiency decrease that occurred. From the calculation results obtained the value of incoming heat is almost the same that is 1370221763,17 kJ / h for HRSG 1 while 1370226150,97 for HRSG 2, but the value of heat absorbed by HRSG 1 of 1198645622019 kJ / h while the heat is absorbed by HRSG2 of 1151184244888 kJ / h. the largest heat absorption difference occurred in the HP system with the percentage of heat absorption 59,272% for HRSG 1 and 55,085% for HRSG 2. In this study it can be concluded that the difference in efficiency on both HRSG caused by different values of incoming heat and heat absorbed by the HRSG system own.

Keywords: efficiency, hrsg, difference

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang Masalah

Kapasitas efisiensi dari peralatan unit pembangkit memiliki nilai efisiensi yang sesuai dengan desain produk. Seiring dengan berjalannya waktu nilai kapasitas dari peralatan unit pembangkit akan relative turun yang disebabkan oleh masa pengoperasian dan maintenance yang dilakukan, sehingga menyebabkan efisiensi dari unit pembangkit turun. Salah satu dari penyebab penurunan efisiensi pada unit pembangkit terjadi pada sistem HRSG. Pada PT. Indonesia Power UJP PLTGU Cilegon terdapat 2 HRSG dengan merk dan jenis yang sama, akan tetapi nilai efisiensi yang diperoleh dari kedua HRSG itu memiliki selisih nilai efisiensi sekitar 3% pada bulan Maret 2018. Dengan selisih efisiensi yang terjadi pada salah satu HRSG, mengakibatkan kerja dari salah satu HRSG tidak maksimal. Untuk mengatasi hal tersebut maka penelitian ini bertujuan mencari penyebab perbedaan efisiensi pada HRSG di PLTGU Cilegon.

I.2. Tujuan

Menganalisa penyebab dari perbedaan nilai - nilai efisiensi dari *Heat Recovery Steam Generator 1* dan *Heat Recovery Steam Generator 2* sepanjang Maret 2018.

II. Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan proses mendapatkan data yang digunakan untuk analisis teoritis yang diperlukan. Langkah yang digunakan untuk makalah ini antara lain :

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk tugas akhir ini dilaksanakan pada saat kerja praktek di PT. Indonesia Power UJP PLTGU Cilegon yang selanjutnya akan dianalisis. Pada penulisan tugas akhir ini penulis menggunakan beberapa metode pengambilan data, diantaranya :

a. Studi literatur

Studi literatur merupakan mencari teori yang relevan dengan permasalahan yang ditemukan. Studi literatur yang dilakukan penulis dengan membaca manual book, membaca referensi dari perpustakaan, jurnal dan bertujuan untuk mengetahui data yang diperlukan yang berkaitan dengan efisiensi HRSG.

b. Pengambilan data desain dan data aktual

Pengambilan data desain diambil dari Mitsubishi manual book yang sesuai dengan HRSG yang digunakan di UJP PLTGU Cilegon, serta pengambilan data secara aktual diambil dari divisi engineering bagian efisiensi UJP PLTGU Cilegon, dimana semua data parameter alat ukur akan terinput secara otomatis.

c. Wawancara

Wawancara merupakan pengumpulan data yang dilakukan dengan tanya jawab untuk mendapatkan informasi lebih mengenai objek yang diamati. Penulis melakukan tanya jawab dengan para teknisi, operator dan staf divisi engineering mengenai HRSG. Data yang sudah didapat kemudian dianalisis dengan data yang telah didapat sebelumnya.

2. Pengolahan Data

Sesudah data terkumpul dari pengumpulan data maka data yang telah ada perlu diolah penulis, adapun langkah – langkah yang ditempuh dalam pengolahan data diantaranya :

a. Seleksi

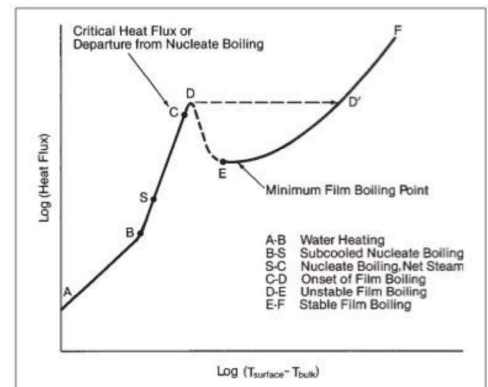
Penulis menyeleksi data sebanyak tiga puluh data yang diambil selama Bulan Maret 2018 yang akan digunakan pada analisis penelitian.

- b. Metode Perhitungan
Mengolah data dengan metode yang ada di Mitsubishi manual book dan aplikasi data base ACS.
 - c. Perbandingan Data
Hasil perhitungan efisiensi pada HRSG 1 dan efisiensi pada HRSG 2 yang telah dihitung kemudian dibandingkan antara efisiensi HRSG 1 dan HRSG 2 untuk mengetahui perbedaan efisiensi.
3. Analisis dan Pembahasan
Analisis dan pembahasan bertujuan untuk memperjelas hasil perbandingan data pada setiap pengolahan data.
 4. Kesimpulan dan Saran
Kesimpulan yang didapat dari pengolahan data Tugas Akhir untuk mengetahui penyebab perbedaan nilai efisiensi pada HRSG 1 dan HRSG 2 pada PT. Indonesia Power UJP PLTGU Cilegon.

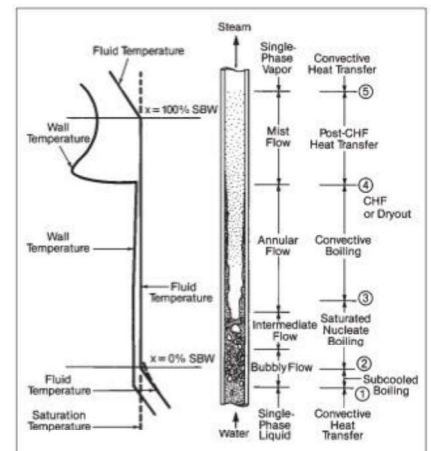
III. Hasil dan Pembahasan

Penyerapan panas HRSG

Dari titik A ke B, perpindahan panas secara konveksi akan mendinginkan metal sehingga proses pendidihan akan tertahan. Proses B ke S merupakan *subcooled boiling* proses ini, kecepatan perpindahan panas cukup tinggi, namun masih belum terbentuk sejumlah uap air. Dari titik S ke C, temperatur air sudah mencapai temperatur saturasi dengan lebih merata. Gelembung uap tidak lagi mengalami kolaps dan mengecil, ia akan semakin besar dan terbentuk semakin banyak gelembung uap. Kurva area ini biasa diberi sebutan *nucleate boilling region*, yang memiliki kecepatan perpindahan panas cepat, serta temperatur permukaan metal lebih besar sedikit dari temperatur saturasi air. Mendekati titik C, permukaan evaporasi akan semakin luas. Pada saat ini proses pembentukan uap terjadi sangat cepat sehingga menyebabkan uap yang terbentuk seakan-akan menghalangi air untuk mendekati permukaan metal. Permukaan metal menjadi terisolasi oleh semacam lapisan film yang tersusun oleh uap air, sehingga mengakibatkan penurunan kecepatan perpindahan panas. Proses ini (C-D) dikenal dengan sebutan *critical heat flux* (CHF). Lebih lanjut, seperti digambarkan dengan titik D ke E, disebut dengan proses *unstable film boilling*. Dimana pada saat ini temperatur permukaan kontak metal-fluida tidak mengalami kenaikan. Titik D ke E, disebut dengan proses *unstable film boilling*. Dimana pada saat ini temperatur permukaan kontak metal-fluida tidak mengalami kenaikan. Dari titik E melewati D' ke F, lapisan insulasi uap air pada permukaan metal menjadi sangat efektif. Sehingga perpindahan panas dari permukaan metal melewati lapisan film ini terjadi dengan cara radiasi, konduksi, serta mikro-konveksi ke permukaan air yang berbatasan dengan lapisan film. Pada fase ini proses evaporasi berlanjut dengan ditandai terbentuknya gelembung-gelembung uap air. Fase ini dikenal dengan sebutan *stable film boilling*.



Titik (1), air masuk ke pipa dan secara konveksi menjadi media pendingin pipa. Tepat pada titik (1) mulai terbentuk gelembung-gelembung uap air, menjadi tanda bahwa proses awal pendidihan dimulai. Pada titik (2), gelembung-gelembung uap air semakin banyak terbentuk dan membuat aliran gelembung (*bubbly flow*). Diantara titik (2) dan (3), gelembung-gelembung uap semakin banyak dan berkumpul membentuk gelembung-gelembung berukuran lebih besar. Sampai di titik (3), temperatur air semakin tinggi dan mencapai temperatur saturasinya dan mencapai fase *nucleate boiling region*. Pada fase ini campuran air dengan uap air mulai membentuk sebuah aliran yang bergelembung, dan membentuk lingkaran seperti gelang (*annular flow*). melewati titik (3) *annular flow* membesar dan terbentuk lapisan film air pada dinding pipa. Perpindahan panas selanjutnya terjadi secara konduksi dan konveksi dengan melewati lapisan film tersebut, sehingga proses evaporasi terjadi pada pertemuan lapisan air dengan uap air. Pada titik (4) proses perpindahan panas mencapai CHF (*Critical Heat Flux*), dimana lapisan film air pada dinding pipa digantikan dengan lapisan film berupa uap air.



Hasil Perhitungan

❖ Formula yang Digunakan Untuk Menghitung Panas yang Diserap Sistem HP

$$QHP = (((Hp \text{ steam flow} \times Hp \text{ steam enthalpy}) + (Hp \text{ drum blow down flow} \times Hp \text{ drum water enthalpy})) - ((SH \text{ DSH spray water flow} + Hp \text{ feed water flow}) \times Hp \text{ feed water enthalpy})) \times 1000$$

$$QHP \text{ HRSG } 1 = (((247 \times 3473,94) + (0 \times 1426,72)) - ((2,94 + 259,72) \times 561,95)) \times 1000$$

$$= 710461241 \text{ kJ/h}$$

$$QHP \text{ HRSG } 2 = (((220,90 \times 3447,94) + (0 \times 1382,03)) - ((0 + 228,37) \times 558,21)) \times 1000$$

$$= 634170378,2 \text{ kJ/h}$$

❖ Formula yang Digunakan Untuk Menghitung Panas yang Diserap Sistem IP

$$QIP = (((IP \text{ steam flow} \times IP \text{ steam enthalpy}) + (IP \text{ drum blow down flow} \times IP \text{ drum water enthalpy})) - (IP \text{ feed water flow} \times IP \text{ feed water enthalpy})) \times 1000$$

$$QIP \text{ HRSG } 1 = (((60,531 \times 2894,02) + (29,63 \times 1023,77)) - (42,676 \times 545,64)) \times 1000$$

$$= 152196910,951 \text{ kJ/h}$$

$$QIP \text{ HRSG } 2 = (((63,32 \times 2897,96) + (0 \times 999,54)) - (43,95 \times 537,35)) \times 1000$$

$$= 159879705,019 \text{ kJ/h}$$

❖ Formula yang Digunakan Untuk Menghitung Panas yang Diserap Sistem LP

$$QLP = ((LP \text{ steam flow} \times LP \text{ steam enthalpy}) + (LP \text{ drum blow down flow} \times LP \text{ drum water enthalpy})) - (LP \text{ feed water flow} \times LP \text{ feed water enthalpy})) \times 1000$$

$$\begin{aligned}
 QLP \text{ HRSG } 1 &= (((36,914 \times 2974,31) + (0 \times 666,216) - (40,370 \times 538,049)) \times 1000 \\
 &= 88071500,058 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 QLP \text{ HRSG } 2 &= (((33,59 \times 2.967,62) + (0 \times 656,782)) - (36,627 \times 525,289)) \times 1000 \\
 &= 80453794,184 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

❖ **Formula yang digunakan untuk menghitung panas yang diserap sistem RH**

$$Q_{RH} = (((\text{Cold reheat steam flow} + \text{IP steam flow}) \times (\text{RH2 outlet steam enthalpy} - \text{RH1 inlet steam enthalpy})) + (\text{RH-DeSH spray water flow} \times (\text{RH2 outlet steam enthalpy} - \text{IP feed water enthalpy}))) \times 1000$$

$$\begin{aligned}
 Q_{RH} \text{ HRSG } 1 &= (((235,122 + 60,531) \times (3597,604 - 3132,538)) + (1,100 \times (3597,604 \times 545,636))) \\
 &\times 1000 = 140855563,887 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{RH} \text{ HRSG } 2 &= (((209,099 + 63,320) \times (3543,836 - 3127,170)) + (0,000 \times (3543,836 - 537,347))) \\
 &\times 1000 = 113507933,394 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

❖ **Formula yang digunakan untuk menghitung panas yang diserap sistem Preeheat**

$$Q_{PRH} = (\text{Preheater outlet water enthalpy} - \text{Preheater inlet water enthalpy}) \times \text{Preheater water flow} \times 1000$$

$$Q_{PRH} \text{ HRSG } 1 = (525,591 - 229,614) \times 361,718 \times 1000 = 107060406,137 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{PRH} \text{ HRSG } 2 = (542,634 - 225,432) \times 514,413 \times 1000 = 163172434,124 \text{ kJ/h}$$

❖ **Formula Panas Yang diserap HRSG**

$$Q_{\text{serap HRSG}} = Q_{HP} + Q_{IP} + Q_{LP} + Q_{RH} + Q_{PRH}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{serap HRSG } 1} &= 710461241 \text{ kJ/h} + 152196910,951 \text{ kJ/h} + 88071500,058 \text{ kJ/h} + \\
 &140855563,887 \text{ kJ/h} + 107060406,137 \text{ kJ/h} = 1198645622,019 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{serap HRSG } 2} &= 634170378,2 \text{ kJ/h} + 159879705,019 \text{ kJ/h} + 80453794,184 \text{ kJ/h} + \\
 &140855563,887 \text{ kJ/h} + 163172434,124 \text{ kJ/h} = 1178531875 \text{ kJ/h}
 \end{aligned}$$

❖ **Formula Panas Masuk HRSG**

$$Q_{in} \text{ HRSG} = \text{HRSG inlet flue gas flow} \times ((\text{inlet flue gas specific heat} \times \text{HRSG inlet flue gas temperature}) - (\text{Flue gas specific heat at ambient temperature} \times \text{Ambient temperature}))$$

$$Q_{in} \text{ HRSG } 1 = 2183,450 \times ((1,12 \times 591) - (1,06 \times 30,36)) = 1370221763 \text{ kJ/h}$$

$$Q_{in} \text{ HRSG } 2 = 2283,773548 \times ((1,11 \times 568,8) - (1,06 \times 31,56)) = 1370226151 \text{ kJ/h}$$

❖ **Efisiensi HRSG**

$$\text{Efisiensi HRSG} = \frac{\text{Panas yang diserap HRSG}}{\text{Panas yang masuk HRSG}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi HRSG 1} = \frac{1198645622.019 \text{ kJ/h}}{1370221763 \text{ kJ/h}} \times 100\% = 87.478 \%$$

$$\text{Efisiensi HRSG 2} = \frac{1198645622.019 \text{ kJ/h}}{1370221763 \text{ kJ/h}} \times 100\% = 84.014 \%$$

Data diatas diambil dengan menggunakan perbandingan nilai panas masuk yang hampir sama antara HRSG 1 dan HRSG 2. Dari hasil perhitungan didapat penyerapan panas pada HRSG 2 tidak maksimal, hal tersebut dapat terlihat dimana hasil penyerapan panas pada sistem *high pressure* di HRSG 2 berbeda jauh nilainya dengan sistem *high pressure* di HRSG 1. Dimana penyerapan panas dalam persentase di sistem *high pressure* HRSG 1 sebesar 59,272 % dan di sistem HRSG 2 sebesar 55,085%.

IV. Kesimpulan

1. Perbedaan efisiensi HRSG 1 dan HRSG2 terjadi karena penyerapan panas pada sistem High Pressure HRSG 2 tidak maksimal, hal ini ditunjukkan pada data perhitungan, dimana penyerapan pada sistem HP HRSG 1 sebesar 59,272% sedangkan penyerapan panas pada sistem HP HRSG2 sebesar 55,085%.
2. Penyerapan panas pada setiap sistem HP, LP, IP, RH, Preheat mempunyai nilai yang berbeda-beda, penyerapan panas yang memiliki selisih paling jauh pada sitem penyerapan panas sistem HP
3. Apabila pada sistem high pressure di HRSG 2 dapat dimaksimalkan maka efisiensi HRSG 2 lebih baik dari HRSG 1. Perbaikan dari penyerapan panas dari HRSG 2 dapat dilakukan dengan melakukan treatment *dry ice*.

V. Daftar Pustaka

- [1] Heat recovery steam generator technology (2017 woodhead publishing)
- [2] Mitsubishi *manual book*,2006
- [3] Holman J P. 1998. Perpindahan Kalor. Jakarta : Erlangga
- [4] 2004. *PT. PLN (Persero) Cilegon Combined Cycle Power Plant (740 MW) Design Manual*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- [5] Efisiensi Pengoperasian Unit PLTU Modul 3, Indonesia Power

ANALISIS PERHITUNGAN PENAMBAHAN PADA JALUR KONVEYOR 1B – 2B PLTU PAITON UNIT 9

Tio Marlina, Rizky Aldi Wiguna, P.Janus, Emir Ridwan
Prodi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424,
Telp : +6221 7270044, Fax : (021) 7270034,
marlinavett.24@gmail.com

Abstrak

Sabuk konveyor adalah alat pemindah bahan dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Material batu bara adalah salah satu contoh material berbentuk bulk yang dapat diangkut dengan sabuk konveyor dalam proses menjaga stabilnya ketersediaan pasokan batu bara untuk Boiler sebagai bahan bakarnya. Berdasarkan data lapangan saat ini, jalur sabuk konveyor pada PLTU Paiton unit 9 hanya memiliki satu jalur sehingga dibutuhkan penambahan jalur konveyor sebagai alat redundansi. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui spesifikasi dari komponen penambahan sabuk konveyor 1B – 2B PLTU Paiton Unit 9. Oleh karena itu, perlu diketahui kecepatan dan lebar pada sabuk konveyor 1B – 2B. Sehingga dapat menentukan nilai kapasitas dan besar daya sabuk yang digunakan pada sabuk konveyor 1B – 2B. Untuk metode penyelesaian masalah berupa perhitungan ulang dari jalur konveyor yang telah ada, studi literatur tentang perhitungan kapasitas dan daya motor pada sabuk konveyor, pengumpulan data desain dan aktual sabuk konveyor 1B – 2B, wawancara dan diskusi dengan pihak-pihak yang sudah bekompeten. Setelah dilakukan perhitungan terhadap spesifikasi sabuk konveyor pada jalur 1B – 2B di dapatkan kapasitas sabuk (1.500 ton/sekon), lebar sabuk (1400 mm), kecepatan sabuk (2,5 m/s) untuk sabuk konveyor 1B – 2B sesuai dengan rekomendasi spesifikasi sabuk konveyor jalur 1A-2A sehingga dapat menjadi alat redundansi di PLTU Paiton Unit 9.

Kata kunci : sabuk, kecepatan, lebar, kapasitas, motor

Abstract

The conveyor belt is moving material from one location to another. Material of coal is one example of the material shaped bulk that can be transported by conveyor belts in the process of maintaining the relative availability of supply of coal to the Boiler as its fuel. Based on the data field of the current line, conveyor belt on PLTU Paiton unit 9 has only one path so that required the addition of conveyor lines as a means of redundancies. The purpose of this study is to know the specifications of the components of the conveyor belt adding 1B – 2B PLTU Paiton Unit 9. Therefore, please note the speed and width of conveyor belt 1B – 2B. So that it can determine the value of the capacity and large power belt conveyor belts used in the 1B – 2B. For methods of solving problems in the form of calculation of conveyor lines, study of literature on the calculation of the capacity and power of the motor on belt conveyor design and data collection, the actual conveyor belt 1B – 2B, interviews and discussion with parties who have been bekompeten. After the calculation is performed against specification belt conveyor on line 1B – 2B in the get capacity belt (1,500 ton/seconds), the width of the belt (1400 mm), speed of the belt (2.5 m/s) for conveyor belt 1B 2B – in accordance with the recommendation of the conveyor belt specifications line 1A-2A can be a tool for redundancies in the Paiton PLTU Unit 9.

Keywords : belt, speed, width, capacity, power

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

PLTU Paiton Unit 9 menggunakan batubara tipe *lignite* sebagai sumber energi yang berasal dari tambang batubara di Sumatera dan Kalimantan. Batubara *lignite* merupakan batubara dengan *grade low rank* yang memiliki nilai kalori 6300 BTU/lb – 8300 BTU/lb sehingga cocok untuk digunakan industri pembangkit listrik. Batubara yang dikirim dari tambang untuk PLTU Paiton Unit 9 berkisar 12000 DWT batubara. Namun jadwal pengiriman dan kapasitas kapal fluktuatif tergantung batubara di *coal storage*.

Berdasarkan data lapangan, PLTU Paiton Unit 9 memiliki konsumsi batubara untuk sumber energi sebesar 376,3 t/h [1]. Besarnya konsumsi batubara pada PLTU Paiton Unit 9 didukung dengan 2 *Coal Storage*, yaitu *dead storage* dengan kapasitas 24.9×10^4 Ton dan *life storage* yaitu penyimpanan batubara satu unit untuk 30 hari dengan kapasitas 7.7×10^4 Ton [1]. Sehingga total

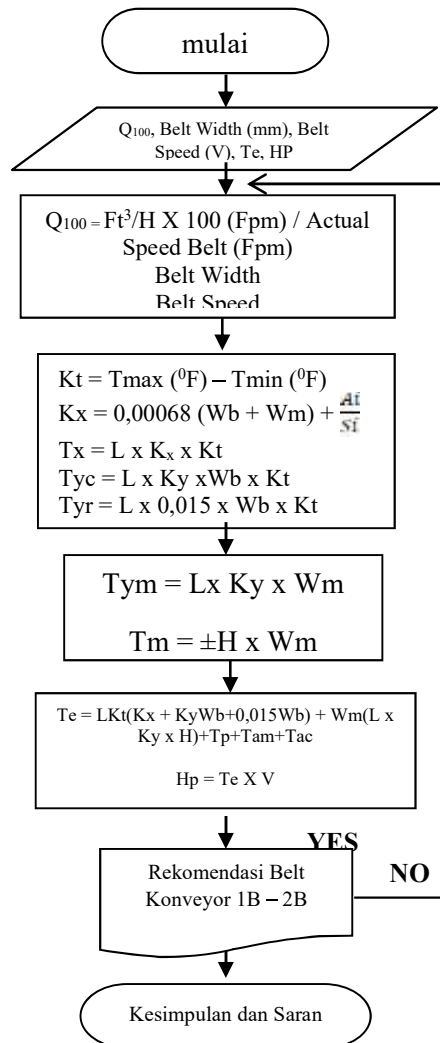
kapasitas *Coal Storage* sebesar 34.6×10^4 Ton. Untuk memenuhi kebutuhan stok batubara, PLTU Paiton Unit 9 menambah satu unit *ship unloader* untuk mempercepat bongkar muat batubara. Grab pada setiap unit *ship unloader* mampu *digging* sebesar 1250 t/h. Penambahan *ship unloader* dimaksudkan untuk mempercepat bongkar muat batubara. Namun hanya terdapat satu *line belt* konveyor dari *ship unloader* menuju *coal storage* yaitu belt konveyor 1A – 2A yang memiliki kapasitas rata-rata 1500 t/h dengan lebar sabuk 1400 mm dan kecepatan 2.5 m/s [2]. Akibat dari penambahan *ship unloader* maka akan bertambah pula kapasitas batubara yang akan disalurkan menuju *coal storage* sehingga akan berdampak pada penumpukan batubara pada *ship unloader* dan membutuhkan waktu yang lama untuk menyalurkan batubara menuju *coal storage*.

Untuk pengoptimalan waktu penyaluran batubara dari *ship unloader*, PLTU Paiton Unit 9 menambah sabuk konveyor jalur 1B – 2B. Oleh karena itu makalah ini bertujuan untuk menganalisis perhitungan penambahan belt konveyor 1B – 2B pada PLTU Paiton Unit 9.

Tujuan

1. Menjadi alat redudansi sabuk konveyor 1A – 2A yang telah terpasang di PLTU Paiton Unit 9.
2. Menganalisis perhitungan penambahan jalur sabuk konveyor 1B di PLTU Paiton Unit 9.
3. Menganalisis perhitungan penambahan jalur sabuk konveyor 2B di PLTU Paiton Unit 9.

II. METODE PENELITIAN



Gambar.1 Diagram Alir Metode Penelitian

1. Tinjauan Pustaka

Studi literatur dilakukan dengan cara membaca manual book, membaca gambar, membaca jurnal, membaca buku berkaitan dengan jalur konveyor dan mendapat referensi teori dari *Human Resources Development (HRD) PT. Rekadaya ElektriKA*.

Tabel.1 Data Spesifikasi *Design Existing* Konveyor 1 – 2

PART/WEARING OUT MATERIAL	SPESIFIKASI KONVEYOR	
	1A	2A
<i>Belt Conveyor</i>	ep. 200- 1400 x 5 (4.5+1.5) <i>Fire resistant</i> Panjang belt = 345 m Lebar belt = 1400 mm Jumlah ply = 5 <i>Top cover</i> = 4.5 mm <i>Bottom cover</i> = 1.5 mm	ep. 300- 1400 x 5 (4.5+1.5) <i>Fire resistant</i> Panjang belt = 1050 m Lebar belt = 1400 mm Jumlah ply = 5 <i>Top cover</i> = 4.5 mm <i>Bottom cover</i> = 1.5 mm
<i>Drive Pulley</i>	Diameter = 1000 mm Length = 1600 mm Bearing = 22232 cc/w33	Diameter = 1000 mm Length = 1600 mm Bearing = 22244
<i>Snub Drive Pulley</i>	Diameter = 500 mm Length = 1600 mm Bearing = 22224 e	Diameter = 500 mm Length = 1600 mm Bearing = 22226 cc/w33
<i>Snub Tail Pulley</i>	Diameter = 400 mm Length = 1600 mm Bearing = 22220 e	Diameter = 800 mm Length = 1600 mm
<i>Tail Pulley</i>	Diameter = 800 mm Length = 1600 mm Bearing = 22228 cc/w33	Diameter = 400 mm Length = 1600 mm Bearing = 22232 cc/w33
<i>Bend Pulley</i>		Diameter = 630 mm Length = 1600 mm Bearing = 22232 cc/w33
<i>Take up Pulley/Tension Pulley</i>		Diameter = 800 mm Length = 1600 mm Bearing = 22232 cc/w3
<i>Fluid Coupling</i>	Type yox li z 500	Type yox li z 650
<i>Idler</i>	<i>Roller, transition idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 386	<i>Roller, transition idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 1217
	<i>Roller, through idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm	<i>Roller, through idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm
	<i>Roller, upper centering idler (cone type)</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 26	<i>Roller, upper centering idler (cone type)</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 84

	<p style="text-align: center;"><i>Roller, screw idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 1600 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 4</p>	<p style="text-align: center;"><i>Roller, screw idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 1600 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 4</p>
	<p style="text-align: center;"><i>Roller, v type return idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 1600 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 4</p>	<p style="text-align: center;"><i>Roller, v type return idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 1600 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 4</p>
	<p style="text-align: center;"><i>Roller, unitarelism lower centering idler (cone type)</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 800 mm Diameter shaft = 30 mm Jumlah = 6</p>	<p style="text-align: center;"><i>Roller, unitarelism lower centering idler (cone type)</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 800 mm Diameter shaft = 30 mm Jumlah = 16</p>
	<p style="text-align: center;"><i>Roller, return idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 1600 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 26</p>	<p style="text-align: center;"><i>Roller, return idler</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 1600 mm Diameter shaft = 25 mm Jumlah = 92</p>
	<p style="text-align: center;"><i>Roller, comb idler Internal double flat</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm poros Jumlah = 20</p>	<p style="text-align: center;"><i>Roller, comb idler Internal double flat</i> Diameter drum = 133 mm Length drum = 530 mm Diameter shaft = 25 mm poros Jumlah = 66</p>
Motor	<p style="text-align: center;"><i>3 phase induction motor y2315m-4th shanghai shandian</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>3 phase induction motor y2315m-4th shanghai shandian</i></p>

Perhitungan kapasitas, kecepatan sabuk, lebar sabuk, dan daya motor berdasarkan rekomendasi *manual Book Conveyor Equipment Manufacturers Association* [3].

a. Perhitungan Kapasitas

Perhitungan kapasitas yang diinginkan untuk belt konveyor menggunakan persamaan 1 :

$$Q_{100} = \frac{ft^3}{h} \times \frac{100 \text{ (fpm)}}{\text{actual belt speed (fpm)}} \quad [ft^3/h] \text{ [3]} \quad \dots\dots\dots [Persamaan.1]$$

Keterangan :

Q : Kapasitas yang diinginkan

$\frac{ft^3}{h}$: Kapasitas material yang diangkat

b. Perhitungan Lebar Sabuk

Perhitungan lebar sabuk menggunakan tabel 2 dengan melihat nilai kapasitas yang diinginkan (Q100) dan nilai *throughing idler belt*.

Tabel.2 Menentukan Lebar Belt dengan Q100 dan Throughing Belt

35 degree troughed belt, three equal rolls, standard edge distance

Belt Width (in)	A _{sc} Cross Sectional Area (ft ²) Surcharge Angle (deg)						Capacity (ft ³ /hr) at 100 fpm Surcharge Angle (deg)							
	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15	20	25	30
18	0.144	0.161	0.178	0.195	0.212	0.230	0.249	864	965	1,066	1,169	1,274	1,381	1,492
24	0.278	0.310	0.341	0.374	0.406	0.440	0.475	1,668	1,858	2,049	2,242	2,438	2,640	2,848
30	0.456	0.507	0.558	0.610	0.663	0.717	0.773	2,733	3,039	3,347	3,658	3,976	4,301	4,636
36	0.676	0.751	0.827	0.903	0.981	1.061	1.143	4,059	4,508	4,961	5,419	5,886	6,364	6,858
42	0.941	1.044	1.149	1.254	1.362	1.472	1.585	5,645	6,266	6,892	7,525	8,169	8,830	9,512
48	1.249	1.385	1.523	1.662	1.804	1.950	2.100	7,491	8,312	9,138	9,974	10,826	11,699	12,599
54	1.600	1.774	1.950	2.128	2.309	2.495	2.686	9,599	10,646	11,701	12,768	13,855	14,969	16,119
60	1.994	2.211	2.430	2.651	2.876	3.107	3.345	11,966	13,269	14,580	15,906	17,258	18,643	20,071
72	2.914	3.230	3.548	3.869	4.197	4.533	4.879	17,484	19,379	21,286	23,216	25,182	27,197	29,275
84	4.007	4.440	4.876	5.317	5.766	6.227	6.702	24,043	26,642	29,256	31,902	34,598	37,361	40,210
96	4.941	5.474	6.011	6.554	7.107	7.673	8.258	29,647	32,846	36,064	39,321	42,639	46,040	49,548
108	6.715	7.438	8.165	8.901	9.651	10.420	11.212	40,290	44,627	48,990	53,408	57,907	62,518	67,274
120	8.329	9.225	10.126	11.038	11.967	12.919	13.901	49,976	55,349	60,754	66,226	71,799	77,512	83,404

Sumber: *Belt Conveyor for Bulk Materials*

c. Perhitungan Kecepatan Sabuk

Perhitungan kecepatan belt ditentukan menggunakan Tabel 3 dengan melihat material yang diangkut oleh sabuk konveyor.

Tabel.3 Menentukan Kecepatan Belt

Material Being Conveyed	Belt Speeds (fpm)	Belt Width (in)
Grain or other free flowing, nonabrasive material	400	18
	600	24-30
	800	36-42
	1000	48-96
	1200	108-120
Coal, damp clay, soft ores, overburden and earth, fine crushed stone	600	18
	800	24-36
	1000	42-60
	1200	72-96
	1400	108-120
Heavy, hard, sharp edged ore, coarse crushed stone	400	18
	600	24-36
	800	42-60
	1000	72-96
	1200	108-120
Foundry sand, prepared or damp; shake-out sand with small cores, with or without small castings (not hot enough to harm belting)	350	Any Width
Prepared foundry sand and similar damp (or dry abrasive) materials discharged from belt by rubber edged plows	200	Any Width
Nonabrasive materials discharged from belt by means of plows	200 Except for wood pulp where 300 to 400 is preferable	Any Width
Feeder belts, flat or troughed, for feeding fine, nonabrasive, or mildly abrasive materials from hoppers and bins	50 to 100	Any Width
Coal (bituminous, sub-bituminous), PRB coal, lignite, petroleum coke, gob, culm and silt.	500 to 700 for belt conveyors 380 to 500 for silo feed conveyors and tripper belt conveyors	Any Width
Power Generating Plant applications	500 for belt conveyors 380 for silo feed conveyors and tripper belt conveyors	Any Width

d. Perhitungan Daya Motor (HP)

$$HP = Te \times v \quad [3][\text{Persamaan.2}]$$

Keterangan :

HP : daya motor (Watt)

Te : Efektifitas tension belt (kg)

v : kecepatan aktual belt (m/s)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Parameter *Belt Conveyor*

Data parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan kapasitas, lebar sabuk, kecepatan sabuk, dan daya sabuk pada jalur konveyor 1B – 2B PLTU Paiton Unit 9 yang telah sesuai dengan *manual book Conveyor Equipment Manufacturers Association*.

Tabel. 4 Data Parameter Untuk Perhitungan Sabuk Konveyor 1A – 2A

STEP	BELT CONVEYOR CAPACITY	Satuan	JALUR SABUK KONVEYOR	
	Data-Data		1A	2A
	<i>Type of Coal</i>		Low Rank Coal	Low Rank Coal
	<i>Bulk Density</i>	kg/m ³	850	850
	<i>GCV</i>	kcal/kg	4200	4200
1	<i>Angle of Repose</i>	degree	25	25
	<i>Surcharge Angle</i>	degree	38	38
2	<i>Bulk Density</i>	lbf/ft ³	45	45
		kg/m ³	721	721
3	<i>Type idler shape</i>		Throughing 35	Throughing 35
	<i>Design factor</i>		1,2	1,2
4	<i>Recommended Belt Speed</i>	m/s	2,5	2,5
		fpm	492	492
5	<i>Belt width</i>	mm	1400	1400
		in	55,12	55,12
6	<i>Q100</i>	ft ³ /h	16.542	16.542
	<i>Capacity</i>	ft ³ /h	81.408	81.408
	<i>design capacity</i>	ton/h	1.400	1.400

Tabel.5 Data Paramater Untuk Perhitungan Sabuk Konveyor 1B – 2B

STEP	BELT CONVEYOR CAPACITY	Satuan	JALUR SABUK KONVEYOR	
	Data-Data		1B	2B
	<i>Type of Coal</i>		Low Rank Coal	Low Rank Coal
	<i>Bulk Density</i>	<i>kg/m³</i>	850	850
	<i>GCV</i>	<i>kcal/kg</i>	4200	4200
1	<i>Angle of Repose</i>	<i>degree</i>	25	25
	<i>Surcharge Angle</i>	<i>degree</i>	38	38
2	<i>Bulk Density</i>	<i>lb/ft³</i>	45	45
		<i>kg/m³</i>	721	721
3	<i>Type idler shape</i>		Throughing 35	Throughing 35
	<i>Desaign factor</i>		1,2	1,2
4	<i>Recommended Belt Speed</i>	<i>m/s</i>	2,5	2,5
		<i>fpm</i>	500	500
5	<i>Belt width</i>	<i>mm</i>	1400	1400
		<i>in</i>	51,42	51,42
6	<i>Q100</i>	<i>ft³/h</i>	67.842	67.842
	<i>Capacity</i>	<i>ft³/h</i>	13.568	13.568
	<i>design capacity</i>	<i>ton/h</i>	1.500	1.500

3.2. Data Perhitungan Daya Motor Sabuk Konveyor 1B

Tabel.6 Data Perhitungan Daya Sabuk Konveyor 1B

Input	Keterangan	Britist Standard		SI	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
Wb		14,91771128	lb/ft	22,2	kg/m
Wm		112,0172284	lb/ft	166,7	kg/m
Wb+Wm		126,9349397	lb/ft	188,9	kg/m
A ₁		1,8		1,8	
S ₁		3,937007874	ft	1,2	m
H	jarak vertikal <i>nett lift or lowered (-)</i>	0,656167979	ft	0,2	m
K _t		1		1	
K _x		0,5435	lbs/ft	1,6285	kg/m
K _y		0,018		0,018	m
L		1096,128609	ft	334,1	m
V		500	ft/min	2,54	m/s
B		55,118112	inc	1400	mm
Q	Kapasitas	1500	ton/h	1500	ton/h
	<i>ft3/h</i>	67842,86086	<i>ft3/h</i>		
	Q100	13568,57217	<i>ft3/h</i>		
T _p		1100	lb	0	Kg
T _{am}		0	lb	0,00	Kg
T _{sb}		128	lb	58,059776	Kg
T _{pl}		0	lb	0	Kg
T _{tr}		0	lb	0	Kg
T _{bc}		0	lb	0,00	Kg
T _{ac}		128	lb	58,06	Kg
T _e		4500,00	lb		Kg
T _m		73,50211839	lb	33,34	Kg
T _x		595,76	lb	544,07	Kg
T _{ym}		2210,135198	lb	6,01	Kg
T _{yc}		294,3311421	lb	133,51	Kg
T _{yr}		245,2759518	lb	111,26	m/s
T _{yb}		539,6070939	lb	244,76	Kg

3.3. Data Perhitungan Daya Motor 2B

Tabel.7 Data Perhitungan Daya Sabbuk Konveyor 2B

Input	Keterangan	Britist Standard		SI	
		Nilai	Satuan	Nilai	Satuan
W _b		17,4711934	lb/ft	26	kg/m
W _m		112,0172284	lb/ft	166,7	kg/m
W _b +W _m		129,4884218	lb/ft	192,7	kg/m
A ₁		1,8		1,8	
S ₁		3,937007874	ft	1,2	m
H	jarak vertikal <i>nett lift or lowered(-)</i>	60,36745407	ft	18,4	m
K _t		1		1	
K _x		0,5453	lbs/ft	1,6310	kg/m
K _y		0,018		0,018	m
L		3405,511811	ft	1038	m
V		500	ft/min	2,54	m/s
B		55,118112	inc	1400	mm
Q	Kapasitas	1500	ton/h	1500	ton/h
	<i>ft3/h</i>	67842,86086	<i>ft3/h</i>		
	Q100	13568,57217	<i>ft3/h</i>		
T _p		1100	lb	0	Kg
T _{am}		0	lb	0,00	Kg
T _{pl}		0	lb	0	Kg
T _{sb}		128	lb	58,059776	Kg
T _{tr}		0	lb	0	Kg
T _{bc}		0	lb	0,00	Kg
T _{ac}		128	lb	58,06	Kg
T _e		5152,68	lb	2337,22	Kg
T _m		6762,200392	lb	3067,28	Kg
T _x		1856,86	lb	1693,02	Kg
T _{ym}		1	lb	3114,62	Kg
T _{yc}		1070,971269	lb	485,78	Kg
T _{yr}		892,4760578	lb	404,82	m/s
T _{yb}		1963,447327	lb	890,60	Kg

Kesimpulan hasil analisa perhitungan :

1. Berdasarkan Tabel 4 dan Tabel 5 (halaman 6 dan 7), spesifikasi konveyor 1B – 2B dapat menjadi alat redudansi (*back up*) pada jalur belt konveyor 1A – 2A di PLTU Paiton unit 9.
2. Nilai perhitungan kapasitas sabuk (1.500 ton/sekon), lebar sabuk (1400 mm), kecepatan sabuk(2,5 m/s) untuk sabuk konveyor 1B sesuai dengan rekomendasi spesifikasi belt konveyor jalur 1B di PLTU Paiton Unit 9.
3. Nilai perhitungan kapasitas sabuk (1500 ton/sekon), kecepatan sabuk(2,5 m/s), lebar sabuk 2B (1400 mm) sesuai dengan rekomendasi spesifikasi sabuk konveyor jalur 2B di PLTU Paiton Unit 9.
4. Daya sabuk konveyor 1B sesuai dengan rekomendasi spesifikasi belt konveyor jalur 2B di PLTU Paiton Unit 9 sebesar 50 kW.
5. Daya sabuk konveyor 2B sesuai dengan rekomendasi spesifikasi belt konveyor jalur 2B di PLTU Paiton Unit 9 sebesar 57, 30 kW.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. U. O. P. PAITON, "PENAMBAHAN SHIP UNLOADER," *PJB INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM*, 2013.
- [2] P. P. U. O. P. PAITON, "PENAMBAHAN JALUR CONVEYOR 1, 2 PLTU Paiton 9," *PJB INTEGRATED MANAGEMENT SYSTEM*, 2013.
- [3] CEMA, *BELT CONVEYORS FOR BULK MATERIALS, FLORIDA: Conveyor Equipment Manufacturers Association*, 2007.
- [4] M. S. Prof. Dr. Ir. Irwandy Arif, Batubara INDONESIA, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2014.
- [5] WUHAN, "DESIGN DESRIPTION," Jawa Timur, 2009.
- [6] M. E. U. o. Riau, "Project Mechanical Construction "Belt Conveyor"," 2013.
- [7] M. Ir.Alfian Hamsi, "Jurnal Dinamis," *ANALISA PENGARUH UKURAN BUTIR DAN TINGKAT*, vol. II, Januari 2011.

Analisis Penyebab Kegagalan Pembacaan *Flame Detector* pada Turbin Gas di PLTGU PRIOK

Andrean Suryadinata¹, Abdurrahman², P. Jannus³, Maykel TE Manawan⁴

Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta, Program Studi Teknik Konversi Energi
Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI, Beji, Kukusan, Kota Depok,
Jawa Barat 16424, Indonesia, Tlp., +625777347144, Fax. (021) 7270034, natandinata@gmail.com¹

Abstrak

Flame detector merupakan alat instrumen sensor yang dapat mendeteksi nilai intensitas dan frekuensi api pada proses pembakaran di ruang bakar pada PLTG. Prinsip kerja *Flame detector* menggunakan metode optik yang bekerja seperti UV (ultraviolet) dan IR (infrared), pencitraan visual api, serta spektroskopi yang berfungsi untuk mengidentifikasi percikan api. Reaksi intens bahan yang memicu kebakaran dapat ditandai oleh sinar UV, terlihatnya emisi karbondioksida, dan radiasi dari infrared. *Flame detector* juga mampu membedakan antara peringatan palsu dan api pembakaran sungguhan melalui komponen sistem yang dirancang dengan fungsi mendeteksi adanya penyerapan cahaya yang terjadi pada gelombang tertentu. Permasalahan yang ditemukan pada *flame detector* salah satunya adalah kotornya kaca *flame detector* berupa jelaga pembakaran di dalam ruang bakar yang menutupi permukaan kaca. Hal ini mengakibatkan penunjuk indikator tidak tepat (fault), bahkan tidak ada penunjuk sama sekali dan mengakibatkan unit turbin gas mati. *Flame detector* di PLTGU Blok 1—2 menggunakan tipe UV sensor series D40—41 fireeye dengan sensor UV. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab terjadinya pengendapan kotoran pada kaca *flame detector* di PLTGU Blok 1-2 dan mencari solusi untuk mencegah terjadinya pengendapan kotoran pada kaca *flame detector*. Metode penyelesaian masalah berupa pengamatan, penelitian, dan wawancara dengan pihak-pihak yang terkait. Kesimpulan penelitian ini adalah bahwa kegagalan pembacaan *flame detector* di PLTGU Blok 1—2 salah satunya disebabkan kaca *flame detector* yang kotor sehingga menghambat sensor membaca nyala api. Pengendapan kotoran pada *flame detector* di PLTGU Blok 1—2 disebabkan oleh beberapa hal, yaitu: komposisi bahan bakar HSD, pola operasi yang tidak kontinu, dan segitiga pembakaran yang tidak sempurna.

Kata kunci: Kaca *flame detector*, Pengendapan kotoran, PLTGU Blok 1—2.

Abstract

Flame detector is one of instrument with a sensor which can detect intensity and frequency of fire at burning process in combustor at gas turbine unit. Working principle *Flame detector* uses optical methods that work like UV (ultraviolet) and IR (infrared), fire visual imaging, as well as spectroscopy that serves to identify sparks or flame. Intense reactions of fire-inducing materials can be marked from UV rays, emissions of carbon dioxide, and radiation from infrared. *Flame Detector* is also able to distinguish between false alert with real burning fire through system components designed with the function of detecting the absorption of light that occurs in certain waves. Problems found in the *flame detector* one of them is the dirty glass *flame detector* in the form of burning coal inside the combustor covering the glass surface. This resulted in the indicator pointer fault even there is no pointer at all and cause in turbine gas unit trip. *Flame detector* in PLTGU Block 1—2 uses UV sensor type D40—41 fireeye series with UV sensor. This study aims to analyze the causes of sediment deposition on the *flame detector* glass in PLTGU Block 1—2 and find a solution to prevent the occurrence of dirt deposition on the *flame detector* glass. Method of problem solving in the form of observation, research and interview with related parties. So it can be concluded that the failure of *flame detector* reading in PLTGU Block 1—2 one of them due to the dirty *flame detector* glass that inhibits the flame reading sensors. Precipitation of dirt on *flame detector* in PLTGU block 1-2 is caused by several things, namely: HSD fuel composition, non-continuous operation pattern, and incomplete combustion triangle.

Keywords : *Flame detector* glass, Precipitation dirt, PLTGU Blok 1—2.

I. PENDAHULUAN

Flame Detector atau *flame scanner* merupakan alat instrumen yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan api di ruang bakar, prinsip kerja *flame detector* sendiri adalah api akan bisa dideteksi oleh keberadaan spectrum cahaya infrared maupun ultraviolet, dan dari situ semacam sensor dalam *flame detector* akan bekerja untuk

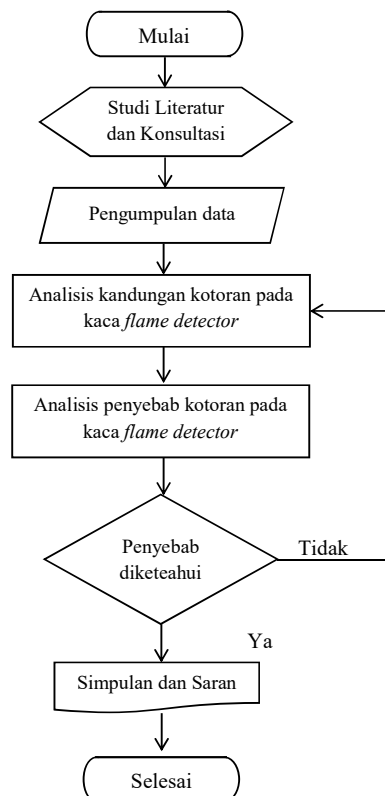
membedakan spectrum cahaya yang terdapat pada api yang terdeteksi tersebut. kegagalan pembacaan pada alat ini sering terjadi salah satunya diakibatkan kaca atau lensa *flame detector* yang kotor, hal ini mengakibatkan petunjuk indikator menjadi tidak tepat (*fault*) bahkan tidak ada petunjuk sama sekali dan menyebabkan terjadinya trip pada turbin gas. Dalam pemeliharaan alat instrument ini kaca atau lensa yang kotor tersebut harus diganti dengan yang baru, dan harga lensa ini relatif mahal. Penyebab kotornya kaca atau lensa pada *flame detector* yang ada pada turbin gas PLTGU Priok diduga disebabkan oleh penggunaan bahan bakar HSD, dengan dampak yang ditimbulkan tentu masalah ini sangat merugikan dalam pengoperasian dan dapat menyebabkan keandalan PLTGU mengalami penurunan.

Dengan adanya analisis penyebab kegagalan pembacaan *flame detector* pada turbin gas di PLTGU-PRIOK dapat diketahui faktor-faktor yang menyebabkan kotornya kaca *flame detector*, mengetahui secara pasti mengapa kaca atau lensa *flame detector* bisa kotor, dan dapat memberikan rekomendasi agar masalah tersebut bisa diatasi.

II. METODE PENELITIAN

1. Diagram Alir

Metode penelitian merupakan proses mendapatkan data yang digunakan untuk analisis teoriti yang diperlukan. Secara sistematis langkah-langkah penelitian sebagaimana Gambar 1



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

2. Studi Literatur dan Konsultasi

Studi literatur dan konsultasi bertujuan untuk menolong penyusun mengerti dasar teori yang relevan dengan permasalahan yang ditemukan.

1. Studi literatur

Penulis melakukan studi literatur melalui manual *maintenance* GT ABB blok 1-2, manual *operation* GT ABB Blok 1-2, dan Jurnal *e-book*.

2. Konsultasi

Penulis melakukan konsultasi dengan beberapa pihak terkait, diantaranya :

- a. Dosen Pembimbing
- b. SPS Instrumentasi
- c. SP GT Blok 1-2
- d. Teknisi Instrumentasi
- e. Teknisi Senior Mekanik

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data untuk tugas akhir ini dilaksanakan pada saat kerja praktik di PLTGU-Priok Blok 1-2. Adapun data yang di kumpulkan untuk penulisan tugas akhir ini, yaitu :

- a. Data riwayat *Trip* GT Blok 1-2 sepanjang tahun 2017
- b. Data analisis komposisi bahan bakar gas dan HSD sepanjang tahun 2017
- c. Data analisis komposisi udara ambient sepanjang tahun 2017

4. Analisis Kandungan Kotoran Yang Menempel Pada Kaca Flame Detector

Melakukan pengujian di laboratorium untuk mengetahui kandungan kotoran yang menempel pada kaca, berikut beberapa foto sampel yang diuji.



(a)



(b)

Gambar 2 (a) & (b) Kaca *Flame Detector* yang kotor

Gambar 2 merupakan bagian kaca *Flame Detector* yang kotor sehingga menyebabkan terhalangnya cahaya pembakaran dari ruang bakar yang akan masuk menuju sensor flame, Oleh karena itu sensor flame tidak mendeteksi adanya pembakaran di ruang bakar dan menyebabkan turbin gas trip karena bahan bakar tidak masuk ke ruang bakar.

Untuk mencari masa karbon yang terbentuk dari pembakaran HSD maka digunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Mol} = m/\text{Mr}$$

[Persamaan 1]

Mol = Mol Senyawa

m = Massa Senyawa (gr)

Mr = Massa Molar (Massa Relatif)

5. Analisis

Setelah kandungan unsur pada kotoran kaca *flame detector* diketahui langkah selanjutnya adalah mencocokkan kandungan unsur tersebut dengan kandungan unsur pada bahan bakar dan udara ambient yang telah dikumpulkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Reaksi Pembakaran Bahan Bakar

Data yang dibutuhkan untuk reaksi pembakaran berupa komposisi bahan bakar yang digunakan pada PLTGU-Priok yaitu gas alam dan HSD, Berikut data komposisi bahan bakar gas alam sebagaimana Table 1

Tabel 1

Component	Mole %	GPM
N2 Nitrogen	0.564	
CO2 Carbon Dioxide	3.816	
H2S Hydrogen Sulphide	0.000	
C1 Methane	90.680	
C2 Ethane	3.240	0.866
C3 Propane	0.964	0.266
iC4 i-Butane	0.227	0.074
nC4 n-Butane	0.248	0.078
iC5 i-Pentane	0.100	0.037
nC5 n-Pentane	0.062	0.022

Compositional Analysis of Gas

Sumber : Line PGN

Tabel 1 merupakan data komposisi bahan bakar gas alam yang digunakan untuk operasi Turbin gas di PLTGU-Priok

Reaksi pembakaran bahan bakar pada kondisi stoikiometri (100 % udara teoritis) adalah:

- Reaksi pembakaran sempurna CH₄ (Methane)

$$\text{CH}_4 + 2(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) \longrightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 2(3,76\text{N}_2)$$
- Reaksi pembakaran sempurna C₂H₆ (Ethane)

$$\text{C}_2\text{H}_6 + 3,5(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) \longrightarrow 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} + 3,5(3,76\text{N}_2)$$
- Reaksi pembakaran sempurna C₃H₈ (Propane)

$$\text{C}_3\text{H}_8 + 5(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) \longrightarrow 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O} + 5(3,76\text{N}_2)$$
- Reaksi pembakaran sempurna C₄H₁₀ (Butane)

$$\text{C}_4\text{H}_{10} + 6,5(\text{O}_2 + 3,76\text{N}_2) \longrightarrow 4\text{CO}_2 + 5\text{H}_2\text{O} + 6,5(3,76\text{N}_2)$$

Tabel 2 Fuel Analysis Report

Tabel 3 Fuel Analysis Report

Parameter Test	Unit	Result
Density 60 degF	Kg/m ³	0.8466
Viscosity Kinematic at 40 degC	cSt	4.08
Pour Point	ASTM Color	-6
Total Acid Number/ TAN	mg KOH/g	0.11
Water Content by distillation	% vol	<0.05
Flash Point, FMCC	°C	69
Condration Carbon Residue/ CCR	% wt	0.03
Sediment	% wt	0.002
Sulphur Content	% wt	0.13
Gross Calorific Value	MJ/kg	45.54
Net Caloric Value	MJ/kg	42.74
Distillation		
IBP	°C	185
10	°C	216
50	°C	283
90	°C	352
EP	°C	381
Recovered	%	99
Residue	%	0.5
Loss	%	0.5
Analisa Kandungan C, H, O, N		
C	%	80.24
H	%	8.01
O	%	9.94
N	%	0.90
Analisa Kandungan Logam		
V (Vanadium)	ppm	0
Na (Sodium)	ppm	<1
Pb (Lead)	ppm	<1
Ca (Calcium)	ppm	5
Mg (Magnesium)	ppm	<1
K (Potassium)	ppm	<1

Tabel 2 merupakan data komposisi bahan bakar HSD yang digunakan untuk operasi di PLTGU-Priok. Senyawa minyak bumi termasuk senyawa hidrokarbon.

Alkana \longrightarrow rumus kimia = C_nH_{2n+2}

HSD \longrightarrow Diesel Oil \longrightarrow C_8H_{18}

- Reaksi pembakaran sempurna C_8H_{18}



Standart Emisi Pembakaran Sempurna

Tabel 3 Standar batas dari buku manual SWD 9TM 620

Batas nilai emisi HSD		
Properti	Nilai	Satuan
Viskositas pada 50° C	Maks. 700	mm ² / s
Massa jenis pada 15° C	Maks. 0,991	g/ ml
Kandungan air	Maks. 1,0	%volume
Kandungan sulfur	Maks. 5,0	%massa
Kandungan abu	Maks. 0,2	%massa
Kandungan vanadium	Maks. 600	mg/ kg
Kandungan sodium	Maks. 100	mg/ kg
Residu karbon	Maks. 22	%massa
Kandungan aspal	Maks. 14	%massa
Flash point	Min. 60	°C
Pour point	Maks. 30	°C
Kandungan aluminium + silikon	Maks. 80	mg/ kg
Sedimen total	Maks. 0,1	%massa

2. Hasil Uji Laboratorium

Hasil pengujian diambil dari 30 kaca dan datanya dikelompokkan menjadi 3 sampel yang sama. Hasil pengujian menunjukkan jumlah karbon yang mengindikasikan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna.

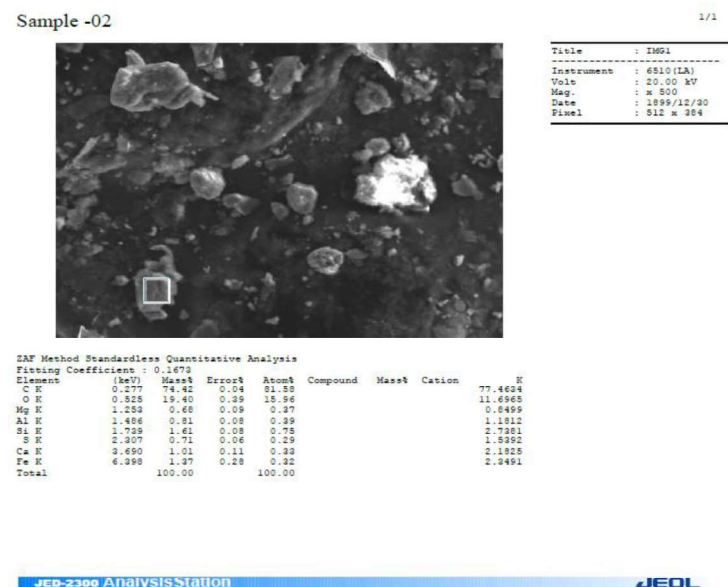
2.1 Sampel 1



Gambar.3 Topografi hasil uji SEM EDS Sampel 1

Gambar 3 merupakan hasil sampel pengujian jelaga pada kaca *Flame Detector* yang dilakukan menggunakan alat uji SEM EDS didapatkan bahwa kandungan karbon (C) 53.92% ; oksigen (O) 18.59% ; Magnesium (Mg) 1.92% ; Aluminium (Al) 2.08% ; Silikon (Si) 4.15% ; Sulfur (S) 2.25% ; Klorin (Cl) 1.48% ; Kalium (K) 0.93% ; Kalsium (Ca) 2.88% ; Besi (Fe) 6.81% ; Tembaga (Cu) 1.58% ; Seng (Zn) 1.93 % ; Molibdenum (Mo) 1.48%.

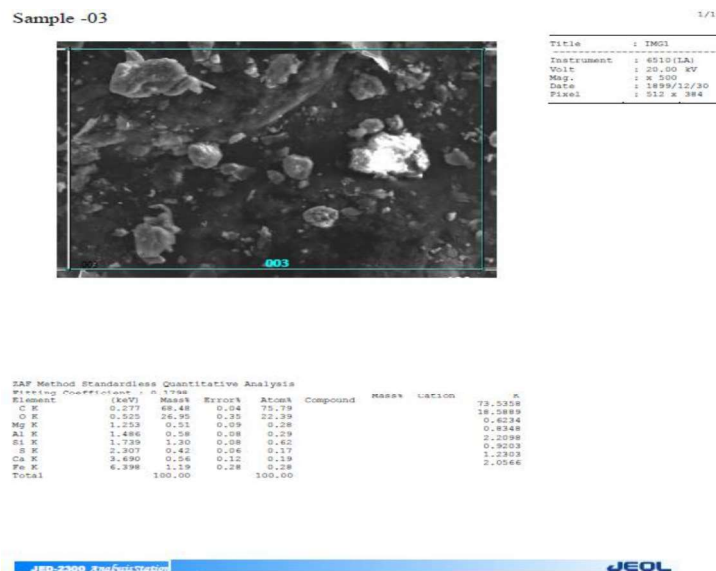
2.2 Sampel 2



Gambar.4 Topografi hasil uji SEM EDS Limbah 2

Gambar 4 merupakan hasil sampel pengujian jelaga pada kaca *Flame Detector* yang dilakukan menggunakan alat uji SEM EDS didapatkan bahwa kandungan karbon (C) 74.42% ; oksigen (O) 19.40 % ; Magnesium (Mg) 0.68% ; Alumunium (Al) 0.81 % ; Silikon (Si) 1.61 % ; Sulfur (S) 0.71% ; Kalsium (Ca) 1.01 % ; Besi (Fe) 1.37% ; Tembaga (Cu) 1.58% ; Seng (Zn) 1.93 % ; Molibdenum (Mo) 1.48%.

2.3 Sampel 3



Gambar.5 Topografi hasil uji SEM EDS Limbah 3

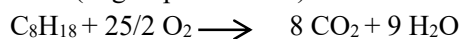
Gambar 5 merupakan hasil sampel dari pengujian jelaga pada kaca *Flame Detector* yang dilakukan menggunakan alat uji SEM EDS didapatkan bahwa kandungan karbon (C) 68,48 % ; oksigen (O) 26,95 % ; Magnesium (Mg) 0,51 % ; Alumunium (Al) 0,58 % ; Silikon (Si) 1,30 % ; Sulfur (S) 0,42 % ; Klorin (Cl) 1,48% ; Kalsium (Ca) 0,56 % ; Besi (Fe) 1,19% ; Tembaga (Cu) 1,58%

4. Hasil Perhitungan presentase massa Carbon menggunakan reaksi pembakaran sempurna

Berikut ini adalah hasil perhitungan presentase massa carbon dari 2 (dua) jenis bahan bakar yang berbeda yaitu HSD (*High Speed Diesel*) dan LNG (*Liquid Natural Gas*) dengan jumlah massa yang dibakar dimisalkan masing-masing adalah 1000 gram dengan reaksi pembakaran sempurna . Perhitungan ini bertujuan untuk membandingkan nilai presentase massa Carbon dari 2 (dua) jenis bahan bakar yaitu HSD (*High Speed Diesel*) dan LNG (*Liquid Natural Gas*) yang digunakan pada Turbin Gas ABB Blok 1—2

Reaksi Pembakaran Sempurna HSD (*High Speed Diesel*)

HSD (High Speed Diesel)



Mencari nilai molekul pada C_8H_{18}

$$mol = \frac{Massa}{Mr}$$

$$mol = \frac{1000 \text{ gr}}{114}$$

$$mol = 8.77$$

Didapatkan bahwa nilai mol pada 1000 gram HSD adalah 8,77 mol

Mencari nilai molekul pada CO₂

rasio CO₂ : C₈H₁₈ = 8:1 (*berdasar perbandingan koefisien pada persamaan reaksinya)

mol CO₂ : 8 = mol C₈H₁₈ : 1

-> mol CO₂ : 8 = 8.77 mol : 1

-> mol CO₂ = 8.77 x 8 = 70,16 mol

Mencari massa CO₂

$$mol = \frac{Massa}{Mr}$$

$$70.16 = \frac{Massa}{44}$$

$$Massa = 3087.04 \text{ gram}$$

Didapatkan bahwa nilai massa CO₂ dari pembakaran sempurna 1000 gram HSD adalah 3087.04 gram

Presentase massa Carbon pada pembakaran sempurna 1000 gram HSD

$$Massa (C) = \frac{Ar (C)}{Mr(CO_2)} \times massa (CO_2)$$

$$Massa = \frac{12}{44} \times 3087.04 \text{ gram}$$

$$Massa = 841.92 \text{ gram}$$

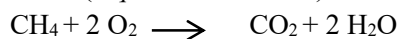
$$\% \text{ Massa} = \frac{Massa \text{ Carbon}}{Massa \text{ HSD}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Massa} = \frac{841.92 \text{ gram}}{1000 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Massa Carbon} = 84.19 \%$$

Dapat disimpulkan bahwa pada pembakaran 1000 gram HSD carbon yang adalah terbentuk sebesar 84.19% Massa.

LNG (*Liquid Natural Gas*)



Mencari nilai molekul pada CH₄

$$mol = \frac{Massa}{Mr}$$

$$mol = \frac{1000 \text{ gr}}{16}$$

$$mol = 62.5$$

Didapatkan bahwa nilai mol pada 1000 gram LNG adalah 62.5 mol

Mencari nilai molekul pada CO₂

rasio CO₂ : CH₄ = 1:1 (*berdasar perbandingan koefisien pada persamaan reaksinya)

mol CO₂ : 1 = mol CH₄ : 1

-> mol CO₂ : 1 = 62.5 mol : 1

-> mol CO₂ = 62.5 x 1 = 62.5 mol

Mencari massa CO₂

$$mol = \frac{Massa}{Mr}$$

$$62.5 = \frac{\text{Massa}}{44}$$

$$\text{Massa} = 2750 \text{ gram}$$

Didapatkan bahwa nilai massa CO₂ dari pembakaran sempurna 1000 gram LNG adalah 2750 gram
Presentase massa Carbon pada pembakaran sempurna 1000 gram LNG

$$\text{Massa (C)} = \frac{\text{Ar (C)}}{\text{Mr(CO}_2\text{)}} \times \text{massa (CO}_2\text{)}$$

$$\text{Massa} = \frac{12}{44} \times 2750 \text{ gram}$$

$$\text{Massa} = 750 \text{ gram}$$

$$\% \text{ Massa} = \frac{\text{Massa Carbon}}{\text{Massa LNG}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Massa} = \frac{750 \text{ gram}}{1000 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Massa Carbon} = 75 \%$$

Dapat disimpulkan bahwa pada pembakaran 1000 gram HSD carbon yang adalah terbentuk sebesar 75 % Massa. Dari perhitungan diatas disimpulkan bahwa presentase massa Carbon HSD (*High Speed Diesel*) lebih besar daripada presentase massa Carbon LNG (*Liquid Natural Gas*), yaitu masing- masing sebesar 84.19% pada pembakaran HSD (*High Speed Diesel*) dan 75% pada pembakaran LNG (*Liquid Natural Gas*). Sehingga dapat dibuktikan bahwa pembakaran HSD (*High Speed Diesel*) menghasilkan lebih banyak Carbon daripada bahan bakar LNG (*Liquid Natural Gas*).

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan;

1. Jelaga yang terdapat pada kaca *Flame Detector* dikarenakan hasil pembakaran yang tidak sempurna dengan rata –rata kadar karbon (C) pada 3 sampel yang diuji sebesar 65.6% massa. Melebihi nilai standart yang diijinkan sebesar 22% massa.
2. Presentase massa Carbon pada bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*) adalah 84.19% dan pada bahan bakar LNG (*Liquid Natural Gas*) adalah 75%
3. Presentase massa Carbon pada bahan bakar HSD (*High Speed Diesel*) lebih besar dari bahan bakar LNG (*Liquid Natural Gas*) sehingga presentase massa carbon yang menempel pada kaca *Flame detector* disebabkan ketika unit turbin gas menggunakan HSD (*High Speed Diesel*)

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tao Sun, Lili Ding, “The Design of Multi-sensor Flame Detector Based on Information Fusion Technology”, Proceedings of the International Symposium on Intelligent Information Systems and Applications (IISA’09)
- [2] Flame Detection Basic Principles, <https://id.scribd.com/document/44376286/Flame-Detection-Basic-Principles>
- [3] Dolok Martin O. D. S, “Rancang Ruang Bakar Turbin Gas Pada Sebuah Pembangkit Listrik Dengan Daya 21 MW”, Universitas Sumatera Utara, 2009
- [4] Rhino Fieldianto, S.T. “Pengaruh Kualitas HFO Terhadap Kinerja Mesin” PLTD Trisakti, Sektor Barito, Banjarmasin, Desember 2010.
- [5] Glassman Irvin, Combustion, Departement of Aerospace and Mechanical Sciences, New York San Francisco London, 1997, hal 240

KAJIAN RISIKO KEGAGALAN OPERASIONAL PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GAS DAN UAP (PLTGU)

Nur Hanifah Azzahra¹; Jusafwar²; Nusyirwan³

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹nurhazra102@gmail.com; ²jusafwar@yahoo.com; ³nusyirwan2008@yahoo.com

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) merupakan pembangkit listrik dengan sistem operasi kombinasi. PLTGU memproduksi listrik dengan media gas panas dan steam untuk memutarakan turbin yang dikopel dengan generator. Pada UU NO.15 Tahun 1985 suatu pembangkit listrik dituntut akan keandalannya untuk dapat menghasilkan listrik. Namun, Kegiatan operasional pada PLTGU tidak sepenuhnya berjalan sesuai rencana. Berbagai faktor dapat menjadi pemicu terjadinya gangguan. Menjadikan sistem ketenagalistrikan yang efisien dan handal mengharuskan adanya manajemen yang baik. Oleh karena itu dibutuhkan antisipasi terhadap adanya risiko kegagalan. Penelitian ini bertujuan mengetahui dan mengelola kemungkinan adanya risiko kegagalan operasional pada PLTGU sehingga diharapkan dapat menjadi referensi dalam mengantisipasi risiko yang mengakibatkan hilangnya produksi listrik. Proses dalam penelitian mengacu pada International Organization for Standardization (ISO) 31000 menggunakan matriks risiko. Proses dilakukan pada PT X dengan mengidentifikasi dan menganalisa risiko. Melalui matriks risiko didapatkan 3 nilai tertinggi dari risiko kegagalan. Tiga risiko dengan nilai tertinggi tersebut dilakukan analisa menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). Maka diketahui adanya risiko yang mempengaruhi faktor operasional PLTGU diantaranya yaitu pasokan bahan bakar rendah, sistem pendingin terganggu dan risiko Circulating Water Pump failure. Sehingga dapat ditentukan perlakuan terhadap risiko kegagalan berupa tidak lanjut sesuai dengan penyebab dari risiko.

Kata Kunci: FMEA, Keandalan, PLTGU, Risiko Kegagalan, Operasional

Abstract

Gas and steam engine power plant (PLTGU) is a power plant with a combined operating system. PLTGU produces electricity with hot and steam media to rotate turbines coupled with generators. In Law No. 15 of 1985 a power plant is required for its reliability to produce electricity. However, operational activities in PLTGU are not fully implemented as planned. Various factors can trigger the occurrence of interference. Making efficient and reliable power systems requires good management. Therefore, anticipation of the risk of failure is required. This study aims to determine and manage the possibility of operational failure risk in PLTGU so it is expected to be a reference in anticipating the risks that result in loss of electricity production. The research process refers to the International Organization for Standardization (ISO) 31000 using a risk matrix. The process is performed on PT X by identifying and analyzing risk. Through the risk matrix obtained 3 the highest value of the risk of failure. Three risks with the highest value were analyzed using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method. It is known that there are risks that affect the operational factors of PLTGU such as low fuel supply, cooling system disrupted and risk of Circulating Water Pump failure. So it can be determined the treatment of the risk of failure in the form of not advanced according to the cause of the risk.

Keywords: FMEA, Reliability, PLTGU, Failure Risk, Operational

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan teknologi saat ini, permintaan akan kebutuhan listrik masyarakat semakin meningkat. Pemerintah pun terus berkonsentrasi terhadap pembangunan sarana pembangkit listrik dengan kapasitas 35.000 MW[1]. Saat ini sudah sangat berkembang sistem Pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) yang merupakan pembangkit listrik dengan sistem kombinasi PLTG dan PLTU. PLTGU merupakan sistem pembangkitan dengan peringkat efisiensi tertinggi. Rata-rata pada PLTGU memiliki efisiensi mencapai 35-50%[2]. Keunggulan PLTGU beroperasi yaitu dengan memanfaatkan gas panas hasil pembakaran PLTG untuk menghasilkan steam yang merupakan media produksi PLTU.

PT. X merupakan perusahaan pembangkit listrik yang mengoperasikan beberapa sistem, salah satunya sistem pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU). Pada PLTGU PT X memiliki kapasitas 740 MW, yang terdiri dari 1 Blok PLTGU dengan 2 *Gas Turbine*, 2 *Heat Recovery Steam Generator (HRSG)* dan 1 *Steam Turbine*. PLTGU ini menggunakan bahan bakar gas alam sebesar 100 [BBTU] per hari dengan tegangan keluar sebesar 150 [kV].

Meningkatnya penggunaan listrik, membutuhkan sistem pembangkit listrik dengan kualitas serta kuantitas yang baik dalam memenuhi kebutuhan listrik. Namun, Kegiatan operasional pada tidak sepenuhnya berjalan sesuai rencana. Berbagai faktor internal ataupun eksternal dapat menjadi pemicu terjadinya gangguan dan hilangnya suplai listrik ke konsumen. Sehingga memungkinkan adanya risiko kegagalan pada operasional. Menjadikan sistem ketenagalistrikan yang efisien dan handal mengharuskan adanya manajemen yang baik dalam mengimplementasikan semua aspek tata kelola pembangkit tenaga listrik. Salah satunya dengan manajemen risiko. Oleh karena itu dibutuhkan antisipasi terhadap risiko kegagalan, dengan mengetahui dan mendalami kelangsungan operasional PLTGU. Makalah ini bertujuan sebagai referensi dalam mengantisipasi kegagalan operasional pada PLTGU.

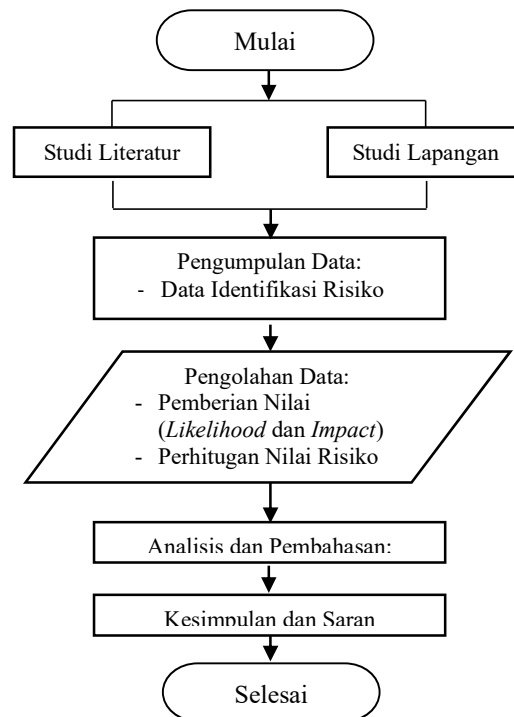
1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang dikemukakan pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi risiko kegagalan yang berpengaruh terhadap operasional PLTGU
2. Menentukan tindakan pengelolaan atas risiko yang ada pada PLTGU.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir



Gambar.1 Diagram Alir

2.2 Langkah Penelitian

- a. Studi literatur dan studi lapangan
Studi literatur merupakan metoda pengumpulan informasi terkait permasalahan yang terjadi dengan mempelajari buku dan jurnal. Sedangkan studi lapangan merupakan pengamatan secara langsung pada PLTGU PT X terkait permasalahan.
- b. Pengumpulan Data
Pengumpulan data dilakukan pada PLTGU PT X data meliputi identifikasi sumber risiko, penyebab risiko dan peristiwa risiko. Risiko ini adalah mode kegagalan operasional yang kemungkinan terjadi. Identifikasi risiko dilakukan berdasarkan pengelompokan subsistem PLGTU. Data dikumpulkan melalui proses interview, brainstorming dan penyebaran kuesioner dengan berbagai pihak terkait.
- c. Pengolahan data
 - Pemberian nilai
Pengolahan data dilakukan dengan memberikan nilai pada data identifikasi risiko. Pemberian nilai dilakukan terhadap *likelihood* dan *consequence* dari suatu risiko. Penilaian *likelihood* berdasarkan frekuensi kejadian suatu mode kegagalan dan nilai *consequence* berdasarkan dampak dari suatu mode kegagalan. Skala yang digunakan pada penilaian yaitu antara 1 sampai dengan 5.
 - Perhitungan data identifikasi risiko
Setelah pemberian nilai, selanjutnya dilakukan perhitungan pada data identifikasi risiko. Perhitungan dilakukan dengan mengkalikan nilai *likelihood* dan nilai *consequence* sebagai nilai dari resiko kegagalan pada operasional[3]. Rumus perhitungan risiko terdapat pada persamaan (1).

$$R_i = f(F_i, C_i) \dots\dots\dots (2.1)$$

R = Risiko
F_i = Frekuensi dari sebuah kejadian
C_i = konsekuensi dari sebuah kejadian

- d. Analisis dan Pembahasan
Analisis merupakan tahap untuk menentukan level risiko. Analisis pada risiko dilakukan untuk mengetahui level suatu risiko kegagalan yang teridentifikasi. Level risiko ditentukan berdasarkan perhitungan nilai *consequence* dan frekuensi kegagalan. Selanjutnya disusun berdasarkan risiko prioritas sebagai ketentuan level risiko[4]. yang disusun pada table 1.

Table.1 Level Risiko

<i>Level</i>	<i>Consequences</i>	<i>Likelihoods</i>	<i>Risk Prioritas</i>
<i>A</i>	<i>Insignificant Or Negligible</i>	<i>Rare</i>	<i>Low</i>
<i>B</i>	<i>Minor</i>	<i>Unlikely</i>	
<i>C</i>	<i>Moderate</i>	<i>Possible</i>	<i>Medium</i>
<i>D</i>	<i>Major</i>	<i>Likely</i>	<i>High</i>
<i>E</i>	<i>Catastrophic Or Severe For Risks</i>	<i>Almost Certain</i>	<i>Extreme</i>

Dale Copper, dkk 2015

Kemudian nilai dari risiko kegagalan dikelompokan berdasarkan matriks risiko. Risiko yang masuk dalam kategori kritikal berdasarkan nilai risiko tertinggi dengan tingkat “Ekstrem”. Risiko kegagalan dengan status ekstrim selanjutnya dilakukan pengelolaan dengan menggunakan metode FMEA.

Table.2 Basic Priority-Setting Matrix

<i>Likelihood</i>	<i>Consequence</i>	
	<i>low</i>	<i>High</i>
<i>High</i>	<i>Medium risk</i>	<i>High risk</i>
<i>low</i>	<i>Low risk</i>	<i>Medium risk</i>

Dale Copper, dkk 2015

e. Hasil akhir

Hasil akhir merupakan hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, untuk dapat diambil suatu kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang ada.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Konteks untuk menentukan risiko kegagalan yang akan dibahas mengacu pada keandalan yang merupakan indikator pembangkit listrik. Kegagalan diidentifikasi berdasarkan susunan aktivitas PLTGU yang terbagi menjadi beberapa aspek, yaitu keadaan bahan bakar, keadaan lingkungan, performa peralatan, tools dan material, sumber daya manusai, dan kondisi operasi. Dari data identifikasi didapatkan 31 mode kegagalan operasional.

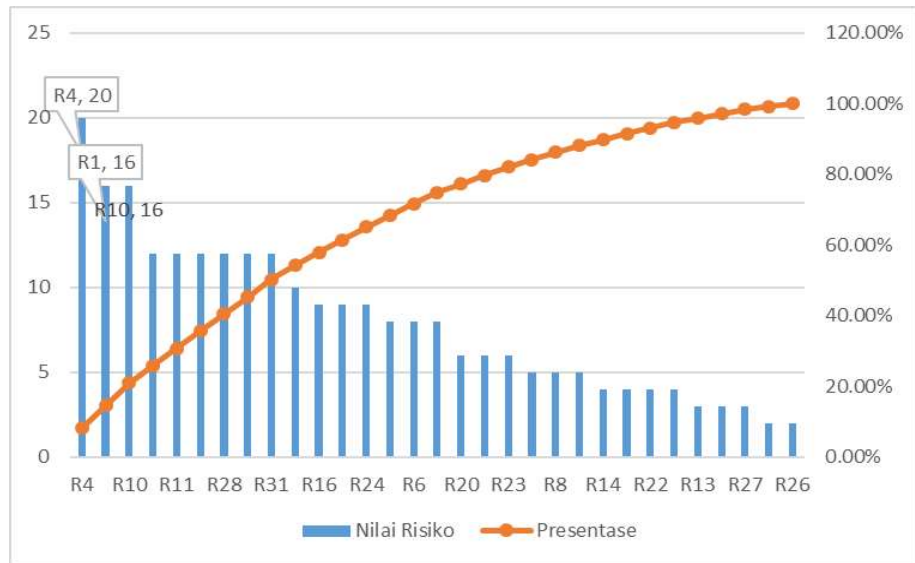
Mode kegagalan yang menjadi variabel selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui nilai dari risiko dan sebagai penentu risiko yang sangat berpengaruh terhadap operasional PLTGU. Untuk menentukan nilai risiko, dilakukan perhitungan dengan mengkalikan hasil penilaian *likelihood* dan *consequence* dari kegagalan.

Table.3 Identifikasi Risiko Kegagalan Operasional PLTGU

Aspek	Kode	Failure Mode	Identifikasi Risiko	Nilai <i>Frequence</i>	Nilai <i>consequence</i>	Nilai <i>Risiko</i>
BAHAN BAKAR	R1	Pasokan Bahan Bakar Rendah	Pasokan bahan bakar turun	4	4	16
	R2	CO2 Pada Bahan Bakar Tinggi	Pembakaran tidak maksimal	3	3	9
	R3	Pressure Bahan Bakar Rendah	Bahan bakar tidak dapat disuplai	2	4	8
KONDISI ALAM	R4	Musim Penghujan	Saringan kotor	5	4	20
	R5	Banjir	Peralatan terendam	2	5	10
	R6	Air Laut Surut	Level air pendingin turun	2	4	8
	R7	Tsunami	Unit Trip	1	5	5
	R8	Gempa Bumi	Kerusakan peralatan	1	5	5
	R9	Kebakaran	Unit Trip	1	5	5
PERFORMA PERALATAN	R10	Lube Circulating Water Pump Failure	Circulating Water Pump (CWP) Trip	4	4	16
	R11	Kotor Pada Kondensor	Daerating/penurunan beban	3	4	12
	R12	Kebocoran Pada Kondensor	Daerating/penurunan beban	2	4	8
	R13	Kebocoran Pada Pipa & Valve HRSG	Daerating/penurunan beban	1	3	3
	R14	Tidak Terdapat Pembakaran Pada Ruang Bakar	Gas turbin trip	1	4	4
	R15	TCA Fan Failure	Daerating/penurunan	3	4	12

			beban			
	R16	Damper Failure	Open cycle	3	3	9
	R17	Pendinginan H2 Pressure Rendah	Generator panas/ Unit trip	1	4	4
	R18	Proteksi Tidak Berfungsi	Gangguan/Peralatan Trip	1	3	3
TOOLS & MATERIAL	R19	Ketidaktersediaan Data Material	Keterlambatan pengerjaan/perbaikan	3	3	9
	R20	Keterlambatan Sparepart Kritis	Keterlambatan pengerjaan/perbaikan	2	3	6
	R21	Kesalahan Spesifikasi	Keterlambatan pemeliharaan	2	3	6
	R22	Kerusakan Material & Tools	Keterlambatan pemeliharaan	2	2	4
SDM	R23	Kekurangan Jumlah SDM	Pekerjaan sulit terkendali/Vendor	2	3	6
	R24	Minimnya Tenaga Ahli	Pekerjaan sulit terkendali/Vendor	3	3	9
	R25	Pemindahan Tenaga Kerja	Pekerjaan sulit terkendali	1	2	2
	R26	Tidak Bekerja Sesuai SOP	kegiatan operasional kurang maksimal	1	2	2
	R27	Kinerja Rendah	kegiatan operasional kurang maksimal	1	3	3
KONDISI OPERASI	R28	Change Over Peralatan	Pemakaian sendiri meningkat	3	3	9
	R29	Start UP Berulang	Life time peralatan turun	4	3	12
	R30	Tingginya Frekuensi Blowdown	Daya rendah	2	2	4
	R31	Perubahan Vacum Kondensor	Penurunan beban	3	4	12

Setelah diketahui nilai risiko, selanjutnya dianalisa dengan menggunakan pareto diagram. Dari 31 risiko maka didapatkan tiga risiko tertinggi. Terlihat pada gambar 2 grafik pareto diagram;



Gambar.2 Diagram Pareto Nilai Risiko

Diketahui dari diagram paroto diatas, terdapat 3 risiko memiliki tingkat tertinggi dengan presentasi yang masih dibawah 20%, yaitu R4, R1 dan R10. Kemudian setelah diketahui nilai suatu risiko, maka disusunlah urutan prioritas risiko. Nilai suatu risiko dikelompokan berdasarkan tingkatan risiko, mulai dari tingkat risiko tertinggi, sampai pada risiko terendah. Risiko yang tidak dapat diterima/ditoleransi merupakan suatu risiko yang dapat menjadi prioritas untuk segera ditangani. Mengetahui besarnya tingkat risiko dan prioritas risiko, maka perlu disusun suatu peta risiko melalui matriks risiko. Risiko dengan nilai 15-25 memiliki status extreme dan harus dilakukan tindakan lebih lanjut untuk menurunkan atau bahkan menghilangkan risiko kegagalan tersebut;

Table 4 Matriks Risiko

PROBABILITAS	KONSEKUENSI				
	Tidak Beratri	Kecil	Sedang	Besar	Sangat Besar
Sangat Jarang		R25, R26	R13, R18, R27	R14, R17	R7, R8, R9
Jarang		R22, R30	R20, R21, R23	R3, R6, R12	R5
Moderat			R16, R19, R24	R2, R11, R15, R31	
Hampr Pasti			R28, R29	R10, R1	
Pasti				R4	

Keterangan:

<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Extreme</i>
1 – 3	4 – 6	8 – 12	15 - 25

Pada matriks risiko menunjukkan bahwa terdapat 5 risiko dengan tingkat *low*, 10 risiko dengan tingkat *moderat*, 13 risiko dengan tingakat *high* dan 3 risiko dengan tingkat *ekstrim*. Risiko dengan tingkatan ekstrim

yaitu risiko dengan kode R1, R4 dan R10 yang merupakan risiko kegagalan akibat kualitas bahan bakar, keadaan saat musim penghujan dan kegagalan saat CWP *lube low*.

FMEA Pada Risiko Extreme

Pengelolaan risiko extreme dengan menggunakan metode FMEA. Diawali dengan identifikasi risiko yang mempengaruhi pembangkit, penyebab-penyebab dari adanya risiko, dampak atau pengaruh dari penyebab risiko serta pengelolaan atau pencegahan agar penyebab risiko tidak dapat terjadi. Berikut FMEA yang dihasilkan dari risiko extreme berupa dampak, penyebab dan metode pencegahannya, dapat dilihat pada Tabel 2.

Table 5 FMEA Risiko ekstrem

Kode	Risiko	Kemungkinan Penyebab	Kemungkinan Dampak	Pencegahan
R4	Apabila Saringan Pendingin Kotor, Pengurangan Daya Sebesar 115 Mw	Biota laut terbawa aliran	Flow system pendingin rendah	Pembersihan sistem saringan secara berkala
R1	Apabila Pasokan Bahan Bakar Rendah, terjadi pengurangan daya Sebesar 93 [Mw]	Permasalahan pada pipa distribusi	Bahan bakar tidak ada suplai	Menyediakan bahan bakar lain (HSD) Kontrak dengan suplayer lain
		Pressure bahan bakar rendah	Bahan bakar tidak ada suplai	Menambahkan <i>compressor gas</i>
		Harga bahan bakar terjadi kenaikan	Boros penggunaan bahan bakar gas	Mengatur pola pembebanan yang tepat. Antisipasi menggunakan bahan bakar lain
R10	Apabila <i>Circulating Water Pump Failure</i> . <i>Steam Turbine trip</i> , terjadi pengurangan Daya sebesar 260 [MW]	Strainer & Screen kotor	Flow rendah	pemeliharaan pada strainer secara rutin
		Pompa CWP <i>lube Failure</i>	<i>Flow lube pump low/hunting</i>	Pengecekan rutin pada level air laut dan flow CWP
		CWP motor <i>Cooling Flow Low</i>	<i>CWP motor trush bearing high temperature</i>	Pengecekan rutin pada pendinginan Analisis kembali proses pendinginan pada CWP

4. KESIMPULAN

- a. Risiko kegagalan operasional pada PLTGU PT.X diketahui, terdapat 5 risiko dengan tingkat *low*, 10 risiko dengan tingkat *moderat*, 13 risiko dengan tingkat *high* dan 3 risiko dengan tingkat ekstrem.
- b. Hasil dari analisis risiko kegagalan operasional PLTGU PT.X, terdapat 3 risiko ekstrem yang memerlukan tindak lanjut untuk menurunkan tingkat risiko, diantaranya;
 - Risiko kegagalan akibat strainer pendingin kotor yang berakibat pengurangan daya sebesar 115 [MW], dengan melakukan tindakan mitigasi atau pencegahan berupa pembersihan saringan secara berkala.
 - Pasokan bahan bakar rendah berakibat pengurangan daya sebesar 93 [MW], dengan melakukan tindakan mitigasi berupa penyediaan bahan bakar lain
 - *Circulating Water Pump* rusak berakibat pengurangan daya sebesar 260 [MW], dengan melakukan tindakan mitigasi berupa pengecekan kembali pada auxiliary CWP

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, "Program 35.000 MW," 2017. [Online]. Available: www.esdm.go.id. [Accessed: 16-Maret-2018].
- [2] Nusyirwan. Manajemen pembangkit tenaga listrik. Jakarta: INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL 2010
- [3] Michel Nicolet-Monnier, dkk. *Quantitative Risk Assessment of Hazardous Materials Transport Systems*. :1996
- [4] Cooper, D., Grey, S., Raymond, G., & Walker, P. (2005). *Project Risk Management Guidelines*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd

ANALISIS PENGARUH NILAI KALORI BATUBARA TERHADAP KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN BIAYA PRODUKSI LISTRIK

Muhammad Iqbal Syahputera¹; Dianta Mustofa Kamal; Arifia Ekayuliana
Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik
Jalan Prof. Dr. G. A. siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
miqbals_95@yahoo.co.id

Abstrak

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batubara merupakan pembangkit listrik yang banyak digunakan di Indonesia dengan persentase 57,22% dari total 60 GW daya terpasang berdasarkan data kementerian ESDM, hal tersebut dikarenakan PLTU mempunyai biaya produksi yang rendah sekitar Rp 500- Rp 600 per KWh, jika dibandingkan pembangkit dengan bahan bakar lain seperti gas sekitar Rp 900 per KWh dan BBM sekitar Rp 1.800 per KWh menurut kementerian ESDM. Biaya produksi yang rendah tersebut dikarenakan harga batubara yang lebih murah dibanding bahan bakar fosil lainnya. Dalam pembangkitan, biaya terbesar untuk mengoperasikan sebuah unit adalah biaya bahan bakar sekitar 80% s/d 88% dari total biaya operasi. Jika konsumsi spesifik bahan bakar meningkat mengakibatkan biaya produksi energi listrik (biaya pembangkitan) menjadi tinggi. Nilai konsumsi spesifik bahan bakar tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu Kualitas batubara yang dipakai dalam proses pembangkitan, salah satu yang mempengaruhi nilai kualitas batubara adalah nilai kalori yang terkandung dalam batubara. Nilai kandungan kalori tersebut yang digunakan oleh boiler untuk menghasilkan uap. penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai kalori pada batubara terhadap nilai gross plant heat rate (GPHR), net plant heat rate (NPHR), specific fuel consumption (SFC) dan biaya produksi listrik pada unit pembangkit listrik. Pada penelitian ini dilakukan pencarian nilai GPHR, NPHR, SFC dan biaya produksi listrik pada kualitas batubara dan beban yang berbeda, sehingga didapatlah nilai SFC terendah sebesar 0,5418 pada pemakaian batubara kalori 4431 pada beban 320 MW, nilai terendah GPHR dan NPHR senilai 2401 dan 2523 saat memakai batubara dengan kalori 4431 pada beban 320 MW, dan nilai efisiensi termal tertinggi senilai 35,8% saat pemakaian batubara dengan kalori 4431 pada beban 320 MW. Sedangkan biaya pembangkitan terendah pada beban 320 MW dengan pemakaian batubara dengan nilai kalori 4232 dengan biaya produksi listrik sebesar Rp.373.67/KWh. Dari penelitian ini diketahui bahwa semakin tinggi nilai kalori dalam batubara dengan beban mendekati fullload maka nilai SFC, GPHR, NPHR, akan menurun dan efisiensi termal meningkat, sedangkan pada biaya produksi listrik walaupun SFC menurun seiring meningkatnya nilai kalori yang dipakai tetapi tidak membuat biaya produksi listrik menurun, hal ini dikarenakan harga batubara semakin mahal dengan semakin tingginya kalori.

Kata kunci: batubara, biaya produksi listrik, gross plant heat rate (GPHR), kalori, net plant heat rate (NPHR), specific fuel consumption (SFC)

Abstract

Coal-fired power plant is a power plant that is widely used in Indonesia with a percentage of 57.22% of a total of 60 GW of installed power based on ministry of ESDM data, it is because PLTU has low production cost around Rp 500- Rp 600 per KWh, when compared to other fuel-generating plants such as gas around Rp 900 per KWh and BBM around Rp 1,800 per KWh according to the ministry of ESDM. The low production cost is due to the cheaper price of coal than other fossil fuels. In power generation, the largest cost to operate a unit is the fuel cost of about 80% to 88% of the total operating cost. If fuel-specific consumption increases, the cost of producing electrical energy becomes high. The specific fuel consumption values are influenced by several factors, one of which is the quality of coal used in the generation process, one of which effects the value of coal quality is the calorific value contained in coal. The value of the calorie content used by the boiler to produce steam. This study aims to determine the effect of coal quality on the value of gross plant heat rate (GPHR), net plant heat rate (NPHR), specific fuel consumption (SFC) and electricity production costs in power generation units. In this research, GPHR, NPHR, SFC and generating value of coal quality and different load are obtained so that the lowest SFC value is 0,5418 for the use of 4431 calorie coal at 320 MW load, the lowest value of GPHR and NPHR is 2401 and 2523 when using 4431 calorie coal at 320 MW load, and the highest thermal efficiency value 35.8% when usage of 4431 calorie coal at 320 MW load. While the lowest cost of generation at the load of 320 MW with the use of coal with a calorific value of 4232 with generation power costs of Rp.373.67 / KWh. From this study it is known that the higher the calorific value in coal with the load approaching fullload, the SFC, GPHR, NPHR value will decrease and the efficiency increases, while at the generation power cost even though SFC decreases with the increasing of calorie value but does not make the generation power cost decrease, this is because the price of coal increasingly expensive with the higher calories.

Keyword: coal, generating power cost, gross plant heat rate (GPHR), kalori, net plant heat rate (NPHR), specific fuel consumption (SFC)

I. PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batubara merupakan pembangkit listrik yang banyak digunakan untuk proyek penyediaan listrik 35000 MW di Indonesia. berdasarkan data kementerian ESDM, PLTU mempunyai persentase 57,22% dari total 60 GW daya terpasang[1], hal tersebut dikarenakan PLTU konvensional mempunyai efisiensi yang cukup baik sekitar 30-35%[2] dan mempunyai biaya produksi yang rendah sekitar Rp 500- Rp 600 per KWh, jika dibandingkan pembangkit dengan bahan bakar lain seperti gas sekitar Rp 900 per KWh dan BBM sekitar Rp 1.800 per KWh menurut kementerian ESDM[1]. Biaya produksi yang rendah tersebut dikarenakan harga batubara yang lebih murah dibanding bahan bakar fosil lainnya.

Dalam pembangkitan, biaya terbesar untuk mengoperasikan sebuah unit adalah biaya bahan bakar sekitar 80% s/d 88% dari total biaya operasi [3], atas dasar tersebut penting untuk memahami aspek bahan bakar yang digunakan pada suatu unit pembangkit. Kualitas batubara yang dipakai akan mempengaruhi *heat rate*, *specific fuel consumption* dan efisiensi. Selain kualitas batubara pola beban pengoperasian pun berpengaruh terhadap *heat rate*, *specific fuel consumption* dan efisiensi sehingga 2 parameter diatas (kualitas batubara dan beban operasi) akan mempengaruhi biaya produksi listrik pada PLTU. Dengan menggunakan kualitas batubara yang sesuai dan pengoperasian pada beban yang optimum akan menjadikan biaya produksi listrik menjadi lebih murah

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kualitas batubara terhadap *heat rate* dan biaya pembangkitan yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik di PLTU palabuhan ratu sehingga didapat kualitas batubara pada beban operasi yang tepat untuk mendapatkan biaya produksi listrik yang rendah.

1.2 RUMUSAN MASALAH

- Bagaimana pengaruh nilai kalori batubara terhadap nilai *heat rate* baik *GPHR* dan *NPHR* ?
- Bagaimana pengaruh nilai kalori batubara terhadap nilai *specific fuel consumption* (*SFC*) ?
- Bagaimana pengaruh nilai kalori batubara terhadap nilai efisiensi termal ?
- Bagaimana pengaruh nilai kalori batubara terhadap biaya produksi listrik ?

1.3 TUJUAN

- Mengetahui nilai *heat rate* baik *GPHR* dan *NPHR* pada pemakaian batubara dengan nilai kalori yang berbeda
- Mengetahui nilai *specific fuel consumption* (*SFC*) pada pemakaian batubara dengan nilai kalori yang berbeda
- Mengetahui nilai efisiensi termal pada pemakaian batubara dengan nilai kalori yang berbeda
- Mengetahui biaya produksi listrik pada pemakaian batubara dengan nilai kalori yang berbeda

1.4 RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH

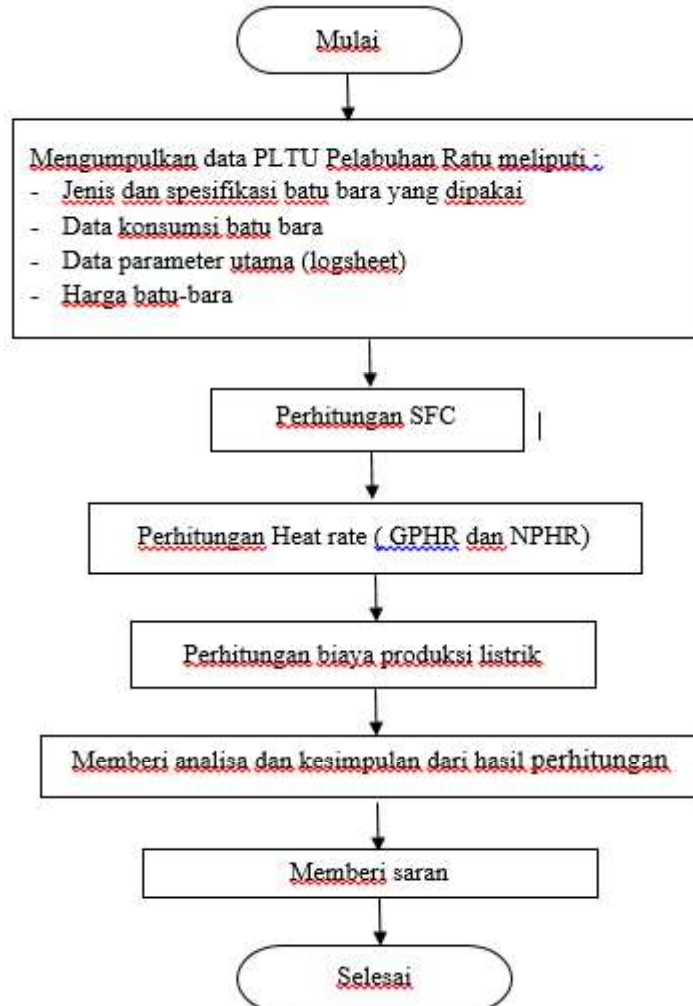
Ruang lingkup penyusunan tugas akhir ini, ialah:

- Penelitian ini berupa analisa perhitungan *SFC*, *heat rate* (*GPHR* dan *NPHR*), efisiensi termal dan biaya produksi listrik pada berbagai jenis batubara.
- Perhitungan menggunakan metode langsung (*direct method*)
- Jenis batubara yang dibahas pada tugas akhir ini hanya batubara yang terdapat di PLTU palabuhan ratu.
- Beban operasi yang digunakan pada penelitian ini hanya pada 240 MW, 280 MW dan 320 MW.
- Data yang dipakai merupakan data selama bulan Januari - April 2018.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Agar penyusunan skripsi berjalan sesuai dengan tujuan, maka digambarkan diagram alir penelitian sebagai berikut:



Gambar 1. Gambar diagram air penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT. Indonesia Power Unit Jasa Pembangkitan Jawa Barat 2 Palabuhan Ratu. Penelitian ini dilakukan pengambilan data operasional Pada Unit 2 PLTU Palabuhan Ratu tanggal 1 Januari 2018- April 2018.

Selain data operasi harian penelitian ini juga melakukan pengambilan data batubara yang dipakai pada unit 2 PLTU palabuhan ratu, data batubara yang dipakai merupakan hasil uji proximate dengan metode *thermo graphic analysis (TGA)* dan uji kalori dengan *bom kalori meter*. Batubara yang diuji merupakan batubara dari *bunker* yang sudah dilakukan proses *blending*. Data batubara yang digunakan adalah data hasil uji pada tanggal 1 Januari 2018- April 2018

Berikut data batubara yang dipakai:

Tabel.1 Data Batubara Pemakaian

	TM	Ash	Volatile	Fixed carbon	Nilai kalori
	%	%	%	%	Kcal/Kg
320 MW	41.188	8.271	29.322	19.71	4232
	31.737	5.935	32.831	29.325	4329
	30.294	4.789	31.209	33.68	4431
280 MW	32.92	6.298	31.813	28.565	4023
	33.105	5.527	32.739	28.365	4305
	30.19	7.109	32.714	29.885	4410
240 MW	33.26724	4.196433	34.292	27.98	4206
	34.1452	4.566784	32.354	28.48	4284
	30.83446	5.40523	32.011	31.71	4298
	31.93121	4.514963	31.586	31.586	4328

Kemudian data data tersebut diolah dan dihitung untuk didapatkan nilai-nilai kinerja pada PLTU berupa *Specific Fuel Consumption*, *Heat Rate* dan efisiensi thermal pada masing-masing beban operasi .

2.2 Perhitungan Performa

Setelah didapatkan data properties pada masing-masing beban, maka selanjutnya adalah perhitungan performa PLTU dengan menggunakan data daripada properties tersebut. Perhitungan performa tersebut antara lain:

a. Heat Rate

Heat Rate didapat dengan menggunakan persamaan: [4]

$$GPHR \text{ (Gross Plan Heat Rate)} = \frac{B \times HHV}{GGO} \quad [1]$$

Sedangkan untuk Net Plant Heat Rate dapat dihitung dengan rumus:

$$NPHR \text{ (Net Plan Heat Rate)} = \frac{B \times HHV}{\text{Net GGO}} \quad [2]$$

Dimana :

- B = Jumlah pemakaian bahan baker (Batubara) per jam (T/H)
- HHV = Nilai kalori bahan bakar (Batubara) per kg (Kcal/Kg)
- GGO = Gross Generator Output per jam (MWh)
- Net GGO = Gross Generator Output – UAT
- UAT = Pemakaian listrik keperluan sendiri

b. Specific Fuel Consumption

Berdasarkan standar perusahaan listrik negara (SPLN) No. 80 tahun 1989 *Specific Fuel Consumption* didapat dengan menggunakan persamaan: [5]

$$SFC \text{ gross} = \frac{Q_f}{Kwh(\text{gross})} \quad [3]$$

$$SFC \text{ netto} = \frac{Q_f}{Kwh(\text{netto})} \quad [4]$$

Dimana :

- KWh_(gross) = Jumlah KWh yang dihasilkan generator (KWh)
- KWh_(netto) = jumlah KWh _(gross) dikurangi KWh auxiliary sistem
- Q_f = Jumlah bahan bakar yang digunakan (kg)

c. Efisiensi Termal

Efisiensi Thermal didapat dengan menggunakan persamaan : [5]

$$\text{Efisiensi thermal} = \left(\frac{860}{\text{GPHR}} \right) \times 100 \% \quad [5]$$

Dimana : 1 KWh = 860 Kilokalori (Kcal)

d. Biaya produksi listrik

Rumus untuk menghitung biaya produksi listrik per KWh adalah sebagai berikut [6]:

$$\text{Biaya produksi listrik} = \text{SFC}_{\text{nett}} (\text{Kg/KWh}) \times \text{Harga batubara (Rp/kg)} \quad [6]$$

Dimana : Harga batubara didapat dari table harga patokan batubara tahun 2017 yang berasal dari Dirjen Minerba kementerian ESDM berikut :

Tabel 2. Data Harga Patokan Batubara Tahun 2017 [7]

No	MERЕК DAGANG	CV (kcal/kg GAR)	HPB MARKER (US\$/ton)
1	Gunung Bayan I	7000	89,98
2	Prima Coal	6700	89,76
3	Pinang 6150	6200	80.99
4	Indominco IM_East	5700	68.52
5	Melawan Coal	5400	65.9
6	Envirocoal	5000	61.64
7	Jorong J-1	4400	49.65
8	Ecocoal	4200	45.28

Untuk mendapat harga dengan nilai kalori tertentu yang tidak terdapat pada tabel maka dilakukanlah perhitungan dengan interpolasi. Kurs yang digunakan yaitu 1 US Dollar = Rp.13356

2.3 Analisa dan Pembahasan

Hasil dari perbandingan kinerja PLTU dengan pemakaian batubara yang berbeda pada masing-masing beban yang didapat kemudian dianalisis. Analisis dilakukan untuk mencari kualitas batubara dengan nilai biaya produksi listrik terbaik .

2.4 Hasil Akhir

Hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diambil suatu kesimpulan yang menjawab permasalahan yang telah diobservasi. Tahapan ini memberikan kesimpulan pada permasalahan yang ada.

III. PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini akan menganalisis pengaruh kualitas batubara terhadap 3 parameter yaitu spesifik fuel consumption (SFC), heat rate, efisiensi thermal serta pula akan mencari biaya baha bakar yang dihasilkan dari setiap batubara.

3.1 Heat Rate

Heat rate merupakan jumlah panas yang dibutuhkan untuk membangkitkan sejumlah energi listrik (KWh). Semakin kecil nilai heat rate semakin baik pula kinerja dari suatu mesin, karena semakin sedikit panas yang dibutuhkan untuk memproduksi energi dimana hal tersebut akan berimbas pada penggunaan bahan bakar yang ikut menurun.

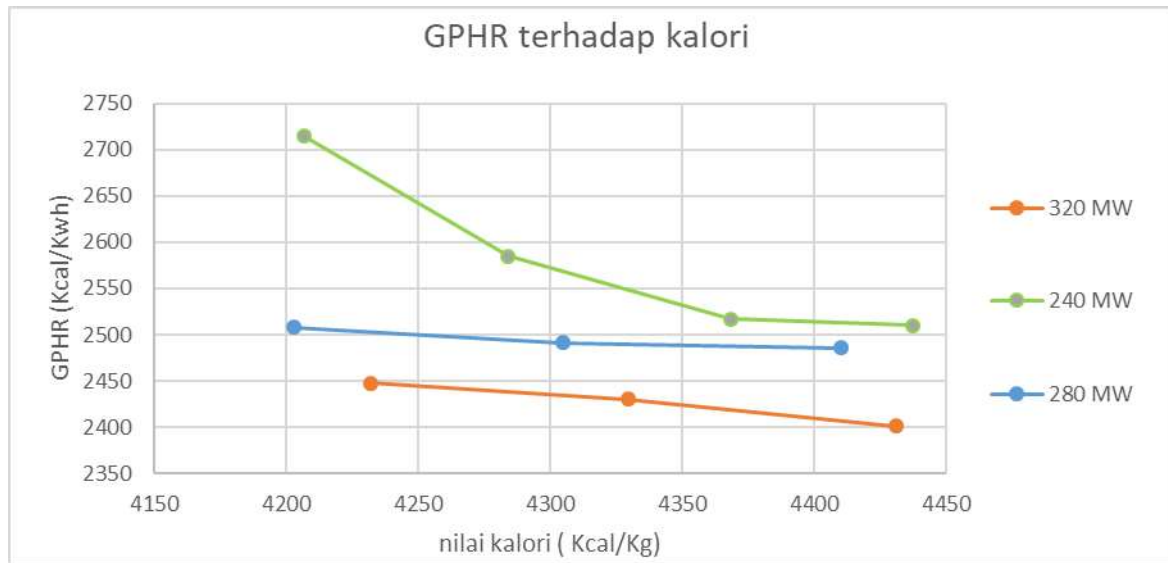
Heat rate dibagi 2 yaitu *gross Plant Heat rate (GPHR)* dan *Nett Plant Heat Rate (NPHR)*

Berikut adalah perhitungan *heat rate* pada beban 240 MW:

$$\text{GPHR (Plan Heat Rate)} = \frac{B \times \text{HHV}}{\text{GGO}}$$

$$\text{GPHR (Plan Heat Rate)} = \frac{3716.59 \times 4206.99}{5760}$$

GPHR (Plan Heat Rate) = 2714 Kcal/KWh



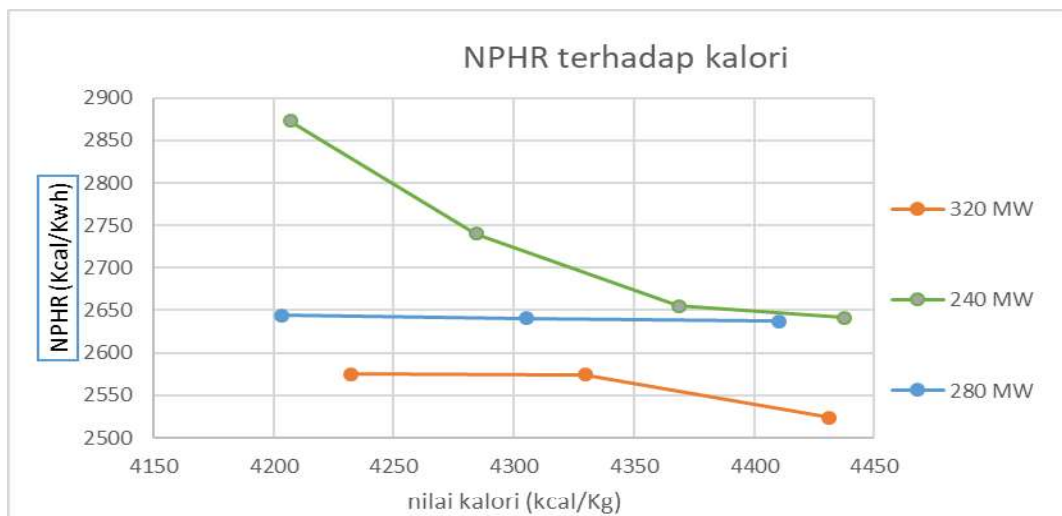
Gambar 2. Grafik GPHR terhadap Kalori

Gambar 2 diatas merupakan grafik hubungan antara nilai Gross Plan Heat Rate (GPHR) dengan nilai kalori batubara yang dipakai dalam pembangkitan. Dari grafik dapat dilihat nilai GPHR menurun seiring naiknya nilai kalori batubara. hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai kalori batubara maka jumlah moisture dan ash pada batubara akan menurun, dengan menurunnya nilai moisture dan ash tersebut maka rugi rugi pembakaran dapat berkurang dan panas yang dihasilkan batubara pada proses pembakaran dapat dimanfaatkan lebih maksimal, sehingga nilai heat rate dapat menurun. Pada beban tinggi panas yang dihasilkan bahan bakar akan diserap lebih optimum sehingga daya yang dihasilkan lebih besar dan rugi rugi yang terjadi relatif lebih rendah, sehingga kebutuhan nilai panas untuk menghasilkan energi listrik (*heat rate*) berkurang.

$$NPHR (Net Plan Heat Rate) = \frac{B \times HHV}{Net GGO}$$

$$NPHR (Net Plan Heat Rate) = \frac{3716.59 \times 4206.99}{5442}$$

$$NPHR (Net Plan Heat Rate) = 2872.94 \text{ Kcal/KWh}$$



Gambar 3. Grafik NPHR terhadap Kalori

Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara nilai Nett Plan Heat Rate (NPHR) dengan nilai kalori batubara yang dipakai. Dari grafik diatas dapat dilihat, semakin tinggi nilai kalori yang terdapat pada batubara maka *nett plant heat rate* (NPHR) semakin turun. Hal ini berhubungan dengan nilai GPHR yang

menurun seiring naiknya kalori bahan bakar. dengan menurunnya GPHR tersebut maka *SFC* akan menurun sehingga pemakaian daya sendiri pun berkurang. jika pemakaian daya sendiri menurun maka daya keluaran generator nett akan semakin besar. Hal ini lah yang menyebabkan semakin tinggi nilai kalori bahan bakar maka semakin rendah nilai *NPFR* unit tersebut.

3.2 Specific fuel consumption (SFC)

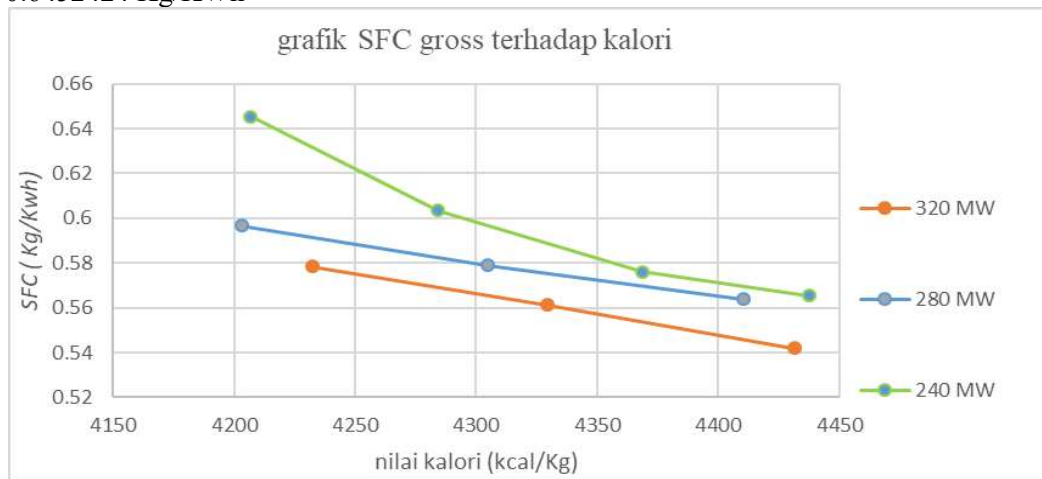
Specific fuel consumption adalah banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi (KWh), semakin rendah nilai *SFC* maka semakin baik pula kinerja dari suatu mesin, karena dapat menghasilkan energi yang tinggi dengan bahan bakar yang rendah.

Berikut perhitungan *SFC* pada beban 240 MW :

$$SFC_{gross} = \frac{Q_f}{Kwh(gross)}$$

$$SFC_{gross} = \frac{3716.59}{5760}$$

$$SFC_{gross} = 0.6452424 \text{ Kg/KWh}$$



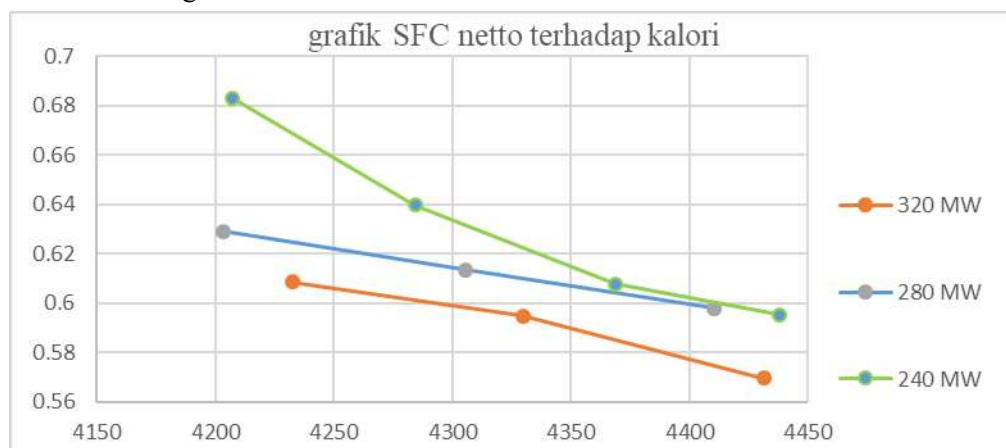
Gambar 4. Grafik SFCgross terhadap kalori

Gambar 4 diatas merupakan grafik hubungan antara nilai *specific fuel consumption gross (SFC gross)* dengan nilai kalori batubara yang dipakai dalam pembangkitan.

$$SFC_{netto} = \frac{Q_f}{Kwh(netto)}$$

$$SFC_{netto} = \frac{3716.6}{5442}$$

$$SFC_{netto} = 0.682895 \text{ Kg/KWh}$$



Gambar 5. Grafik SFC netto terhadap kalori

Gambar 5 diatas merupakan grafik hubungan antara nilai *specific fuel consumption netto* (*SFC netto*) dengan nilai kalori batubara yang dipakai dalam pembangkitan. Dapat dilihat dari kedua grafik diatas bahwa semakin tinggi nilai kalori yang terdapat pada batubara maka konsumsi bahan bakar spesifiknya (*SFC*) baik gross maupun netto semakin turun, yang artinya semakin tinggi nilai kalori yang dipakai semakin sedikit bahan bakar yang dipakai untuk menghasilkan 1KWh listrik . Hal tersebut dikarenakan energi yang digunakan untuk menghasilkan uap di boiler merupakan energi panas yang dihasilkan oleh bahan bakar (batubara), semakin tinggi nilai kalori pada batubara per kg nya maka energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran batubara per kg nya pun makin tinggi. oleh sebab untuk menghasilkan energi panas yang sama, batubara yang memiliki nilai kalori yang lebih tinggi per kg nya akan membutuhkan massa yang lebih sedikit sehingga nilai konsumsi bahan bakarnya (*SFC*) pun akan menurun. Selain itu *SFC* pun dipengaruhi oleh nilai *heat rate*, semakin tinggi nilai *heat rate* maka semakin banyak pula panas yang dibutuhkan sehingga membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak yang menyebabkan nilai *SFC* meningkat.

Dari grafik pun dapat diketahui semakin tinggi beban yang diberikan maka nilai *SFC* gross dan netto akan semakin menurun. Sehingga dapat disimpulkan semakin tinggi nilai kalori yang dipakai pada beban tinggi maka nilai *SFC* akan semakin rendah.

3.3 Efisiensi Termal

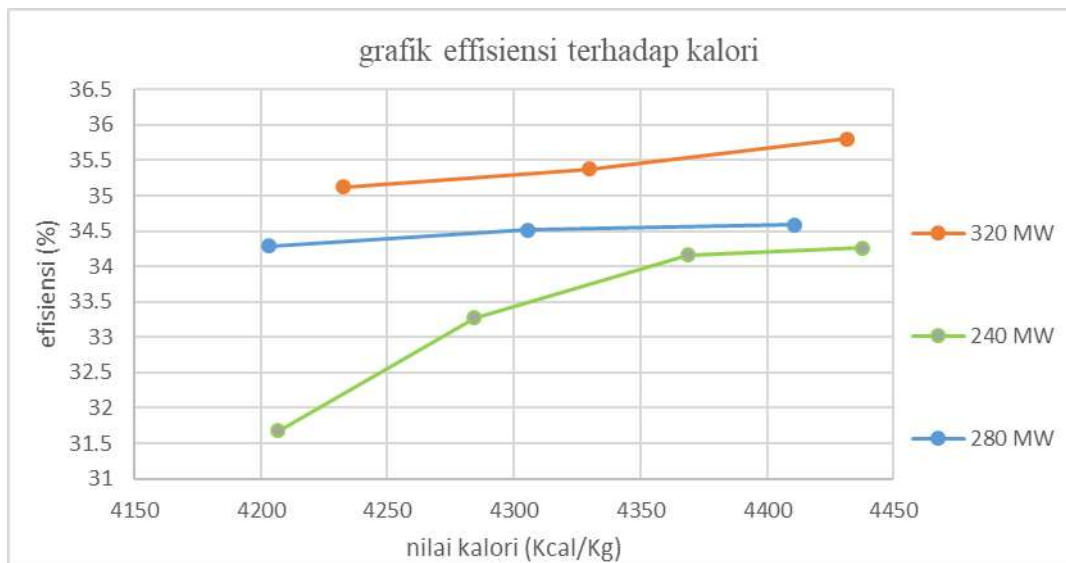
Efisiensi merupakan parameter penting dalam mengukur performa suatu mesin. Efisiensi thermal sendiri merupakan persentase perbandingan energi yang masuk dengan energi yang dihasilkan suatu mesin.

Berikut adalah perhitungan *heat rate* pada beban 240 MW:

$$\text{Efisiensi thermal} = \left(\frac{860}{\text{PHR}} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Efisiensi thermal} = \left(\frac{860}{2714.534} \right) \times 100 \%$$

$$\text{Efisiensi thermal} = 31.68131 \%$$



Gambar 6. Grafik efisiensi termal terhadap kalori

Gambar 6 diatas merupakan grafik hubungan antara nilai efisiensi termal dengan nilai kalori batubara yang dipakai dalam pembangkitan. Dapat dilihat semakin tinggi nilai kalori semakin tinggi pula nilai efisiensi termal yang didapat, hal ini sejalan dengan turunnya *heat rate* dengan semakin tingginya nilai kalori yang dipakai.

Efisiensi termal berbanding terbalik dengan *heat rate*, dengan menurunnya *heat rate* maka efisiensi termal akan meningkat, hal ini dapat terlihat dari grafik diatas. Sebagai contoh pada beban 240 MW pada saat memakai batubara dengan nilai kalori 4437 memiliki nilai *GPHR* terendah sedangkan efisiensi thermal menjadi yang tertinggi.

Efisiensi termal pun semakin tinggi seiring tingginya beban, hal ini karena pada beban tinggi energi panas dapat dimanfaatkan lebih maksimal untuk menghasilkan daya dengan *losses* energi yang tidak jauh berbeda dengan beban rendah.

3.4 Biaya produksi listrik

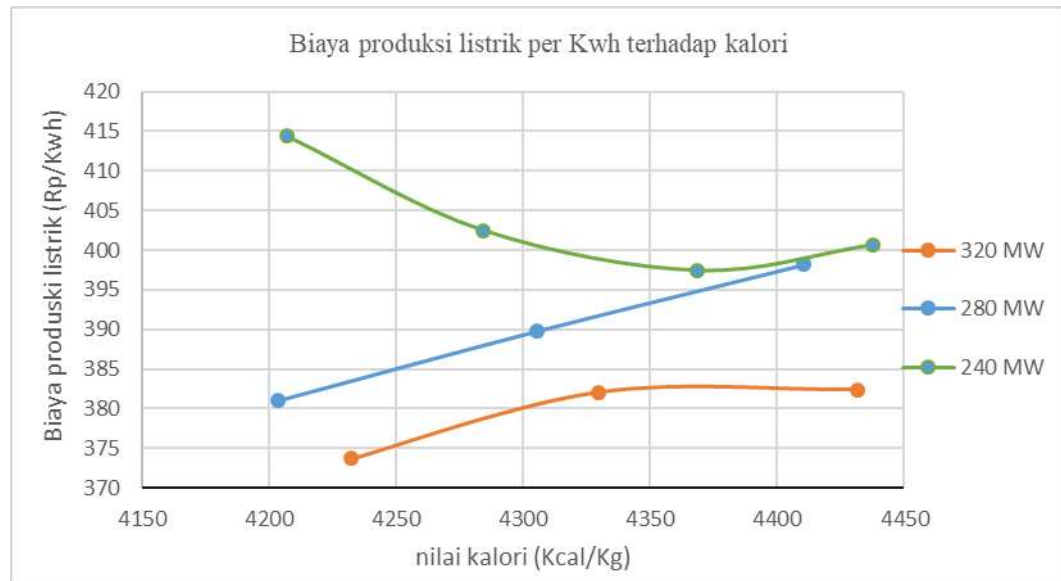
Biaya bahan bakar merupakan hal terpenting dalam menentukan biaya produksi listrik karena 80%-88% biaya produksi listrik tersebut dihasilkan dari biaya bahan bakar, sehingga semakin besar biaya produksi listrik per KWh maka semakin besar pula biaya produksi listrik.

Berikut adalah contoh perhitungan biaya produksi listrik per KWh pada beban 240 MW:

Biaya produksi listrik per KWh = $SFC_{nett} \text{ (Kg/KWh)} \times \text{Harga batubara (Rp/kg)}$

Biaya produksi listrik per KWh = $0,6452424 \times 606,802$

Biaya produksi listrik per KWh = Rp.391,5343/KWh



Gambar 7. Grafik Biaya produksi listrik terhadap kalori

Gambar 7 diatas merupakan grafik hubungan antara biaya produksi listrik dengan nilai kalori batubara yang dipakai dalam pembangkitan. Dari grafik diatas dapat dilihat pada beban 240 MW biaya produksi listrik pada pemakaian batubara dengan nilai kalor 4206 tinggi hal ini disebabkan oleh *SFC* yang tinggi, seiring dengan naiknya nilai kalor *SFC* pun turun, tetapi tidak dengan biaya produksi listrik yang memiliki nilai optimum pada nilai kalori sekitar 4300. Hal ini disebabkan karena pada titik tersebut adalah titik paling ideal antara *SFC* dengan harga bahan batubara, karena walaupun *SFC* menurun seiring naiknya nilai kalori yang dipakai tetapi harga batubara pun akan semakin mahal pada kalori yang lebih tinggi.

Pada beban 280 MW dan 320 MW dapat dilihat biaya produksi listrik terbaik berada pada pemakaian batubara dengan nilai kalor rendah. hal ini menunjukkan bahwa penurunan *SFC* seiring naiknya nilai kalori batubara tidak sebanding dengan kenaikan harga batubara dengan kalori yang lebih tinggi

IV. PENUTUP

4.1 Kesimpulan

1. Dapat diketahui dengan naiknya nilai kalori batubara yang dipakai dan naiknya beban pembangkitan, nilai *heat rate* baik *GPHR* maupun *NPHR* mengalami penurunan, hal ini ditunjukkan dimana nilai tertinggi *GPHR* dan *NPHR* senilai 2714 dan 2872 saat pemakaian batubara kalori 4206 pada beban 240 MW dan nilai terendah *GPHR* dan *NPHR* senilai 2401 dan 2523 saat memakai batubara dengan kalori 4431 pada beban 320 MW
2. Nilai *SFC* tertinggi didapat pada beban 240 MW dengan nilai *SFC* senilai 0,6452 pada pemakaian batubara dengan kalori 4206 dan nilai *SFC* terendah didapat pada beban 320 MW dengan nilai *SFC* sebesar 0,5418 pada pemakaian batubara kalori 4431. Sehingga dapat disimpulkan dengan naiknya nilai kalori batubara yang dipakai, nilai *SFC* dari unit menurun. Begitu pula jika beban dinaikan, *SFC* pun akan menurun.
3. Dapat diketahui dengan naiknya nilai kalori batubara yang dipakai nilai efisiensi mengalami kenaikan. hal ini ditunjukkan oleh nilai efisiensi thermal tertinggi senilai 35,8% saat pemakaian batubara

dengan kalori 4431 pada beban 320 MW dan efisiensi terendah senilai 31,68% saat pemakaian batubara kalori 4206 pada beban 240 MW.

4. Pada biaya produksi listrik per KWh, penurunan *SFC* tidak serta menurunkan biaya produksi listrik hal ini dikarenakan kenaikan harga bahan bakar seiring naiknya nilai kalori lebih tinggi dibanding penurunan *SFC*. Pada beban 240 MW biaya produksi listrik terendah didapat pada pemakaian batubara berkalori 4368 dengan biaya produksi listrik sebesar Rp397.47 /KWh. Sedang pada beban 280MW dan 320 MW biaya produksi listrik terendah didapat pada pemakaian batubara kalori rendah pada kalori 4203 dan 4232 dengan biaya produksi listrik Rp.381.02/KWh dan Rp.373.67/KWh.

4.2 Saran

Pengambilan data untuk penelitian ini sebaiknya dilakukan pada saat berlangsungnya performance test karena pada saat *performance test*, parameter parameter operasi dikondisikan dan diatur sedemikian rupa untuk mendapat nilai yang optimum dan konstan. Dengan menggunakan data tersebut didapat hasil yang lebih mewakili keadaan sebenarnya.

Perlu dihitungnya biaya pembangkitan yang terdiri atas 2 variabel, yaitu variabel tetap (biaya investasi) dan variabel tidak tetap (perawatan, bahan bakar, dll) sehingga didapatkan biaya pembangkitan listrik yang mendekati sebenarnya.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, <https://www.esdm.go.id> (akses Mei 2018)
- [2] Suyamto. "Perbandingan Perhitungan Efisiensi Antara PLTU Konvensional Dan PLTN", Badan Tenaga Nuklir Nasional : 2009
- [3] Nusyirwan. "Manajemen Pembangkit Tenaga Listrik", Institute Sains Dan Teknologi Nasional : 2010
- [4] Sugiantoro, Bambang. "Metode Analisis Energy Perhitungan Metode Direct And Indirect (Heat Rate/Tara Kalor) Bahan Bakar Batubara Dan Pengaruhnya Pada Performance Sistem Uap", Intuisi Teknologi Dan Seni: 2008
- [5] Basuki, Cahyo Adi. "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan Menggunakan Metode Least Square", Jurusan Teknik Elektro Universitas Diponegoro : 2008
- [6] Nugroho, Agus Adhi. "Analisa Pengaruh Kualitas Batubara Terhadap Biaya Pembangkitan (Studi Kasus Di PLTU Rembang)", Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung: 2014
- [7] Dirjen Minerba Kementerian ESDM. "Harga Batubara Acuan (HBA) & Harga Patokan Batubara (HPB) Bulan Mei 2017": 2017

Rancang Bangun Mesin *Vacuum Forming*

Daffa Adli Munandar¹, Fahmi Haidi¹, Muslimin²

¹Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425. No Tlp (021) 7270036, Fax (021) 7270036,
daffa.adli@ymail.com, fahmi.haidi@gmail.com

²Program Studi Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Abstrak

Thermoforming adalah metode pembentukan lembaran plastik melalui proses pemanasan dan pembentukan dengan proses vacuum. Mesin vacuum forming merupakan mesin yang menggunakan metode thermoforming dalam membentuk lembaran plastik. Mesin Vacuum Forming ini memiliki fleksibilitas tinggi yang mampu membuat produk berbahan dasar lembaran plastik menjadi berbagai macam bentuk sesuai keinginan pengguna. Penelitian ini membahas tentang rancang bangun mesin Vacuum Forming yang menggunakan metode thermoforming yang cocok untuk skala UKM. Proses rancang bangun meliputi perhitungan spesifikasi kebutuhan, merancang sistem dan komponen sesuai dengan metode kerja mesin vacuum forming semi-otomatis. Metode kerja mesin Vacuum Forming ini adalah dengan meletakkan lembaran plastik pada clamp kemudian dipanaskan pada heater hingga mencapai temperatur glass transition lembaran plastik. Clamp akan bergerak keatas mold yang terdapat pada vacuum chamber untuk proses pembentukan. Proses pembentukan dilakukan dengan menghisap udara yang terjebak diantara lembaran plastik dan mold dengan bantuan pompa vacuum yang terdapat dibawah vacuum chamber sehingga lembaran plastik akan mengikuti bentuk mold. Plastik yang sudah terbentuk dapat dilepas dari cetakan dan bagian yang tidak digunakan akan dipotong untuk mendapatkan bentuk yang diinginkan. Mold pada mesin ini dapat di ganti sesuai dengan keinginan pengguna sehingga mesin ini dapat menghasilkan produk sesuai dengan keinginan pengguna.

Kata Kunci: *thermoforming, vacuum forming, plastik*

Abstract

Thermoforming is one of many method to forming plastic sheet using heat and pressure for forming process. Vacuum Forming Machine is a machine that use thermoforming method in forming a plastic sheet. Vacuum forming is a thermoforming method which use vacuum pressure to form the plastic. Vacuum forming machine has high flexibility to produce plastic sheet to various kind of form as the user desired. This research is about Vacuum Forming Machine design with thermoforming method which suitable for UKM. The design process followed by specification determining, system designing and components selecting. Vacuum Forming Machine working by placing plastic sheet into clamp and then move it to heater until the plastic reach glass transition temperature.the clamp will bring the plastic sheet over the mold and cover the mold. The trapped air between plastic sheet and mold will be sucked by vacuum pump below the mold so the plastic sheet form will follow the mold. Formed Plastic sheet can be unload from the clamp and then will be trimmed to get desired part. The mold in this machine can be replaced easily depends on user.

Keywords: *Thermoforming, vacuum forming, plastic*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik adalah suatu bahan polimer (biasanya bahan organik) yang memiliki berat molekul besar, bentuk padat, menjadi lunak jika dipanaskan secara perlahan-lahan dan kemudian dapat dibentuk dan dicetak menjadi bentuk yang diinginkan[1]. Penggunaan plastik dalam kehidupan sehari-hari sangat sering dijumpai dalam berbagai bidang, mulai dari produk rumah tangga, mainan anak – anak hingga kemasan suatu produk atau makanan. Kebutuhan akan produk berbahan dasar plastik dapat ditemukan pada kegiatan Usaha Kecil Menengah (UKM).

Salah satu metode pembentukan plastik yang biasa digunakan ialah *thermoforming*. *Thermoforming* merupakan proses yang pertama digunakan pada industri plastik untuk membentuk lembaran selulosa nitrat pada pertengahan tahun 1800. *Thermoforming* adalah proses pembentukan lembaran polymer thermoplastic menjadi bentuk yang baru menggunakan panas dan tekanan [2]. Mesin *vacuum forming* merupakan mesin yang menggunakan metode *thermoforming* dalam proses pembentukan lembaran plastik menjadi suatu produk. Mesin ini cocok digunakan dalam kegiatan Usaha Kecil Menengah (UKM) karena membutuhkan tekanan yang rendah yaitu kurang dari 14 [Psi] dan tidak memerlukan peralatan yang banyak seperti kebanyakan proses pembentukan plastic lain sehingga tidak membutuhkan biaya yang besar.[2][3]

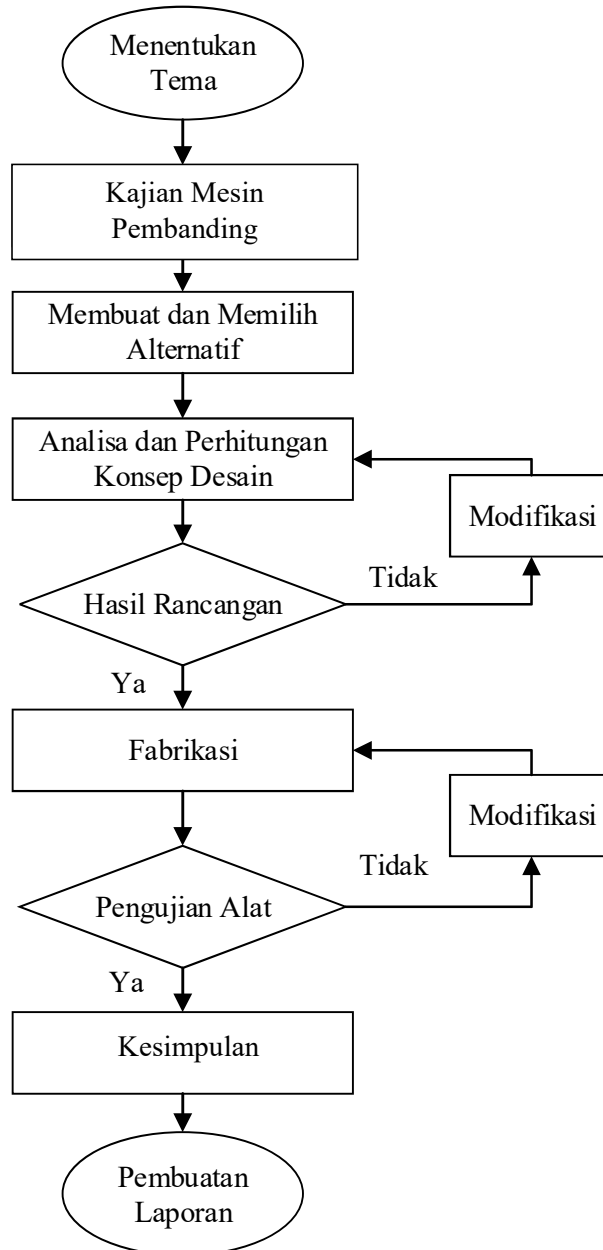
Ezform Lv 1827 *Vacuum Forming Machine* merupakan mesin *vacuum forming* yang dijual dipasaran dengan dimensi mesin 762 x 762 x 533 [mm] dan berat 30 [kg] serta terdapat dua buah elemen pemanas dengan total konsumsi daya 3000 [watt]. Mesin ini dapat menggunakan segala jenis lembaran plastik dengan ukuran maksimal 540 x 768 [mm]. Namun, mesin ini membutuhkan pompa *vacuum* atau *vacuum cleaner* karena tidak langsung terdapat pada paket penjualan. Harga mesin ini relatif mahal sebesar Rp. 29.541.595.

Rancang bangun mesin *thermoforming* yang dilakukan oleh Nugraha (2009) menunjukkan bahwa plastik jenis *polyvinyl chloride* (PVC) *rigid sheet* dengan ketebalan 0,2 – 0,5 mm sesuai untuk kebutuhan *thermoforming* dan dapat diproses pada temperatur kerja 150 [oC] dengan pemanasan selama 35 – 90 detik. Namun demikian mesin ini masih memiliki kekurangan dalam hal elemen *heater* tidak awet, pompa *vacuum* mengalami dua kali kerusakan dalam kurun waktu enam bulan, plat lubang *vacuum* bergoyang saat akan dinaikkan sehingga berpotensi merusak pola, rel pada *heater* yang tidak sejajar ketika melakukan proses membuka dan menutup, *clamp* pengunci yang tidak dapat diatur tingkat kekencangannya (tingkat defect 10%). [4][5]

Berdasarkan kekurangan dari mesin *vacuum forming* merk EZform Lv 1827 dan mesin *thermoforming* yang dibuat oleh Nugraha pada tahun 2009 dilakukan pengembangan rancang bangun *vacuum forming* yang lebih murah dan lebih mudah digunakan agar cocok untuk kegiatan UKM. Tugas akhir ini mengembangkan rancang bangun mesin *vacuum forming* untuk proses pembentukan plastik kemasan makanan skala UKM. Mesin *Vacuum Forming* memiliki dimensi 570 x 570 x 1460 [mm] dengan ukuran cetakan maksimal 400 x 400 x 200 [mm]. *Heater* mesin *vacuum forming* ini didesain dengan suhu maksimal 300 [°C] dan pompa *vacuum* bertekanan 20 [kPa]. Sistem kontrol mesin ini adalah semi otomatis berbasis Arduino.

2. METODE RANCANG BANGUN

Rancang bangun mesin *vacuum forming* dibuat menggunakan metode yang ditunjukkan pada diagram alir dibawah ini :



Gambar.1 Diagram Alir Metode Rancang Bangun




2.1. Menentukan Tema

Pada penelitian ini tema yang diangkat ialah proses pembentukan plastik menggunakan metode *thermoforming* dengan jenis *Vacuum Forming* untuk skala Unit Kegiatan Menengah (UKM).

2.2. Kajian Mesin Pemanding

Berdasarkan mesin yang sudah ada di pasaran diidentifikasi spesifikasi, kelebihan dan kekurangan pada mesin yang sudah ada untuk di kembangkan fitur dan spesifikasinya untuk meningkatkan nilai ekonomis dan kemudahan dalam sistem operasi mesin.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Pemanding

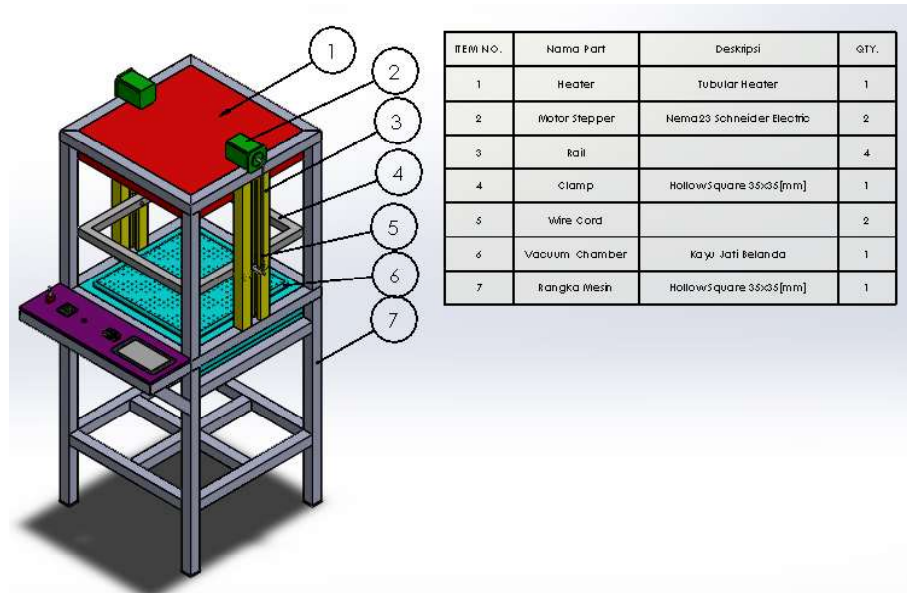
Nama Mesin	Formech 508FS <i>Vacuum Forming</i>	Ezform Lv 1827 <i>Vacuum Forming Machine</i>	CR Clarke <i>Vacuum Former</i> 725 FLB
Gambar			
Daya	4220 watt	3000 Watt	1850 Watt
Tekanan <i>Vacuum</i>	-5 bar	<i>Vacuum cleaner</i>	-0.86 bar
Dimensi	757x1474x1140 [mm]	889x534x762 [mm]	615x880x590 [mm]
Berat	125 [kg]	30 [kg]	56 [kg]
<i>Forming Area</i>	482x432 [mm]	457 x 686 [mm]	228 x 423 [mm]
<i>Voltage</i>	208 – 240 V	210 - 240 V	220 – 240 V
Tebal plastik maks	6 [mm]	Tidak ada keterangan	6 [mm]
Harga	Rp. 171,221,094	Rp. 29,244,105	Rp. 36,781,965

Tabel 2. Kelebihan dan kekurangan Mesin Pemanding

Nama Mesin	Kelebihan	Kekurangan
Formech 508FS <i>Vacuum Forming</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki pompa <i>vacuum</i> dengan kapasitas 5 [-bar] • Sistem <i>heater</i> yang mudah digunakan • Terdapat kontrol otomatis pada tekanan dan suhu • Mudah melepas plastik dengan udara dari pompa yang mendorong plastik agar terlepas • Terdapat kontrol berbasis PLC 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya 4220 Watt tidak cocok untuk skala UKM • Beban mesin yang besar 125 [kg] • Harga mesin relatif mahal untuk skala UKM • Tidak ada kontrol otomatis pada pergerakan <i>clamp</i>
Ezform Lv 1827 <i>Vacuum Forming Machine</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Beban yang ringan sebesar 30 [kg] • Dapat diletakkan di atas meja • Mudah dipindahkan 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya 3000 Watt tidak cocok untuk skala UKM • Tidak terdapat pompa <i>Vacuum</i> • Harga mesin relatif mahal untuk skala UKM • Tidak ada kontrol otomatis pada pergerakan <i>clamp</i>
CR Clarke <i>Vacuum Former</i> 725 FLB	<ul style="list-style-type: none"> • Memiliki pompa <i>vacuum</i> dengan kapasitas 0,86 [-bar] • Terdapat kontrol otomatis pada waktu pemanasan • Mudah melepas plastik dengan udara dari pompa yang mendorong plastik agar terlepas 	<ul style="list-style-type: none"> • Daya 1850 Watt tidak cocok untuk skala UKM • Harga mesin relatif mahal untuk skala UKM • Tidak ada kontrol otomatis pada pergerakan <i>clamp</i>

2.3. Konsep Rancangan

Alternatif Rancangan dibuat untuk membandingkan kelebihan dan kekurangan dari spesifikasi rancangan yang dibuat. Terdapat tiga buah alternatif rancangan pada penelitian ini, berikut adalah alternatif yang dibuat ;



Gambar 1. Konsep Rancangan

Spesifikasi :

- Menggunakan pompa *vacuum* bertekanan 20 [kPa]
- Suhu Maksimal *Heater* 300 [°C]
- Motor servo sebagai sumber daya penggerak *clamp*
- Sistem kontrol otomatis pada *heater* dan *clamp* berbasis Arduino
- Indikator suhu
- *Forming Area* 450 x 450 [mm]
- Profil Rangka *Hollow Square* 35 x 35 [mm]
- Dimensi Mesin 570 x 570 x 1420 [mm]

2.4. Analisa Konsep Rancangan

Alternatif rancangan yang telah dibuat akan di pilih salah satu untuk digunakan sebagai rancangan dari mesin *vacuum forming* yang akan dibuat. Analisa dan perhitungang dilakukan untuk menentukan spesifikasi dari tiap komponen mesin yang akan digunakan. Beberapa rumus yang digunakan dalam analisa dan perhitungan diperoleh dari literatur, jurnal dan katalog.

2.4.1. Tegangan Tarik[6]

Tegangan tarik adalah nama yang diberikan terhadap sebuah gaya yang mencoba untuk menarik sesuatu hingga putus. Ketika gaya eksternal atau beban bekerja pada sebuah benda, maka gaya gaya internal terbentuk pada penampang yang bervariasi dari benda, gaya menahan gaya gaya dari luar. Gaya internal persatuan luas penampang dari benda diketahui sebgai tegangan.

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad [1]$$

σ_t =Tegangan tarik [N/m²]

F =Gaya [N]

A =Luas Penampang [m²]

2.4.2. Tegangan Geser[6]

Ketika sebuah benda atau bodi mengalami pembebanan dua gaya yang berlawanan arah, yang bekerja secara tangensial melintang penampang yang menahan, akibatnya bodi tersebut cenderung menggantung penampang tersebut, kemudian tegangan yang terjadi disebut tegangan geser.

$$\tau_g = \frac{F_{geser}}{A} \quad [2]$$

τ_g =Tegangan geser $[N/m^2]$
 F_{geser} = Gaya geser $[N]$
 A = luasan penampang geser $[m^2]$

2.4.3. Tegangan Bending[6]

Pada tegangan bending gaya gaya yang bekerja pad sebuah batang atau bodi tidak pada titik berat penampang dari batang yang bersangkutan, sehingga reaksi yang muncul pada tumpuan berupa gaya reaksi yang kombinasi.

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma_{bt}}{y} = \frac{E}{R} \quad [3]$$

σ_{bt} =Tegangan Bending
 M =momen bending pada penampang yang ditentukan
 I =momen inertia penampang lintang sekitar sumbu sentral
 y =jarak dari permukaan netral ke lapisan paling luar
 E =modulus elastisitas dari material beam
 R = Radius lengkungan beam

2.4.4. Tegangan Puntir[6]

Ketika sebuah elemen mesin mengalamu dua gaya yang sama dan pasangan yang berlawan arah yang bekerja dalam bidang yang sejajar (torsi atau momen puntir), maka elemen mesin dikatakan mengalami torsi atau momen. Tegangan yang diakibatkan olehnya disebut tegangan geser torsional atau tegangan puntir.

$$\frac{T}{J} = \frac{\tau_p}{r} = \frac{C.\theta}{l} \quad [4]$$

T = torsi atau momen puntir $[Nm]$
 J =momen inertia polar $[m^4]$
 τ_p =tegangan puntir $[N/m^2]$
 r =jari jari poros $[mm]$
 C =modulus kekakuan
 l =panjang poros $[m]$
 θ =sudut puntiran pada panjang l $[rad]$

2.4.5. Hukum Pertama Termodinamika[8]

Hukum pertama termodinapika lebih deikanal sebagai kekalan energi. Suatu bentuk kekekalan energi yang lebih umum memasukkan efek – efek perpindahan kalor dan perubahan energi internal. Hukum pertama termodinamika dirumuskan untuk suatu siklus : perpindahan kalor netto adalah sama dengan usaha netto yang dihasilkan untuk suatu sistem siklus.

$$\Sigma W = \Sigma Q$$

Proses volume konstan : $Q = m \cdot C_v \cdot \Delta T \quad [7]$

Proses tekanan konstan : $Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$ [8]

ΣQ =total kalor [joule]

ΣW =total usaha [joule]

C_v = kalor jenis pada volume konstan [$J/kg.K$]

C_p = kalor jenis pada tekanan konstan [$J/kg.K$]

m =beban equivalent [kg]

ΔT = kecepatan putar [K]

2.4.6. Perpindahan Panas Konveksi[9]

Konveksi adalah perpindahan panas antara permukaan benda padat dengan fluida yang bergerak dan konveksi meliputi kombinasi dari efek konduksi dan pergerakan fluida.

$$Q_{conv} = h \cdot A \cdot (T_s - T_f) \quad [9]$$

Q_{conv} =Laju perpindahan panas konveksi [Joule]

h = koefisien perpindahan panas konveksi [W/m^2K]

A = Luas Permukaan [mm^2]

T_s = Temperatur permukaan benda padat [K]

T_f = Temperatur fluida disekitar benda padat [K]

2.5. Fabrikasi

Fabrikasi rancangan mesin *vacuum forming* dilakukan di bengkel *Shell Eco Marathon* Politeknik Negeri Jakarta dengan menggunakan mesin konvensional yang tersedia. Rangka Alat menggunakan baja profil *hollow square* JIS G3466 STKR400, bagian *vacuum chamber* menggunakan kayu jati balanda, dan elemen pemanas pada *heater* menggunakan *heater* jenis tubular.

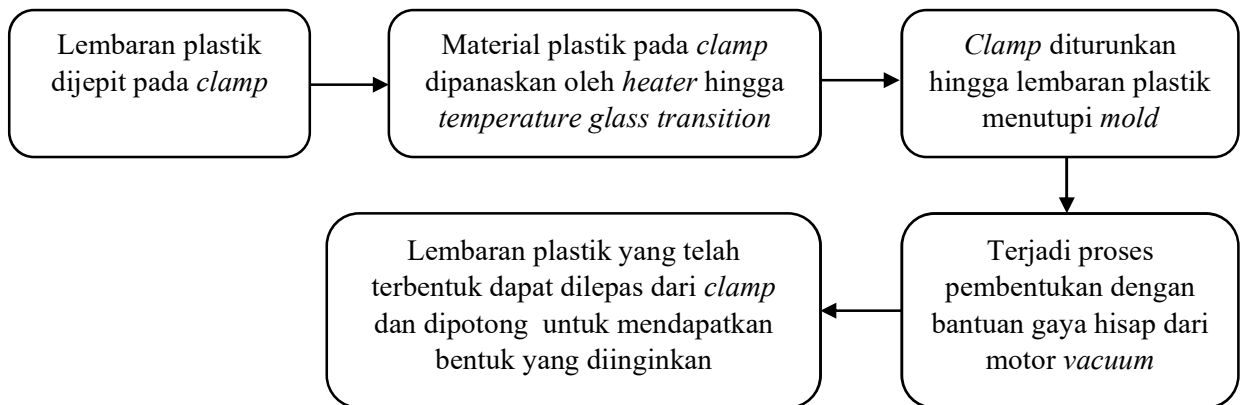
2.6. Pengujian Alat

Pengujian Mesin *Vacuum Forming* yang telah dibuat dilakukan untuk mengetahui apakah mesin dapat bekerja sesuai dengan yang dirancang atau tidak. Uji coba dilakukan dengan membentuk lembaran PVC *Rigid* dengan tebal 0,5 [mm] Beberapa komponen alat di uji seperti *heater*, motor *vacuum*, sistem gerak *clamp*, sistem penguncian *clamp* dan geometri dari hasil produk yang didapat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Prinsip Kerja Alat

Mesin *Vacuum Forming* yang akan dirancang hanya dapat menggunakan lembaran plastik sebagai bahan baku produk. Lembaran plastik dengan ukuran 500 x 500 [mm] dijepit pada *clamp* lalu kemudian di panaskan oleh *heater* yang ada di bagian atas mesin hingga *temperature glass transition*. Kemudian *clamp* diturunkan agar lembaran plastik menutupi *modal* yang ada di atas *vacuum chamber* untuk proses pembentukan. Proses pembentukan dilakukan dengan menghisap udara yang terjebak diantara lembara plastik dan *modal* sehingga lembaran plastik akan mengikuti bentuk *modal*. Lembaran plastik yang sudah terbentuk dapat dilepas dari *clamp* dan dipotong untuk mendapatkan bagian yang di inginkan.



Gambar 2. Prinsip Kerja Alat

3.2. Rancangan Alat

Rancangan Mesin *Vacuum Forming* ini terdiri dari 5 buah bagian utama, yaitu *clamp*, *heater*, *vacuum chamber* pompa *vacuum* dan motor servo. Bagian bagian tersebut di letakkan pada rangka dengan baja profil *hollow square* berukuran 400 x 400 [mm] dengan tebal 1 [mm] untuk menopang setiap bagian pada mesin *vacuum forming*.

a) *Clamp*

Clamp berfungsi sebagai tempat meletakkan lembaran plastik yang akan dibentuk. *Clamp* dibuat dari baja profil *hollow square* berukuran 300 x 400 x 0,9 [mm]. *Clamp* dapat bergerak naik dan turun secara otomatis dengan sumber gerak motor servo yang di kontrol otomatis menggunakan Arduino.

b) *Heater*

Heater berfungsi untuk memanaskan lembaran plastik hingga *temperature glass transition*. *Heater* ini dibuat dengan menggunakan elemen pemanas tubular *heater* dengan diameter 8 [mm] yang dapat menghasilkan suhu hingga 300 [°C] dengan daya 1200 Watt. *Heater* ini memiliki peredam panas dari bahan yang memiliki sifat isolator agar panas yang dihasilkan tidak merambat ke komponen mesin yang lain.

c) *Vacuum Chamber*

Vacuum chamber berbentuk balok dengan ukuran 500 x500x8,5 [mm] yang dibuat menggunakan kayu jati belanda. bagian atas *vacuum chamber* terdapat lubang ber diameter 1 [mm] agar pompa *vacuum* dapat menghisap lembaran plastik yang berada diatas *vacuum chamber* sehingga terjadi proses pembentukan

d) Pompa *Vacuum*

Pompa *Vacuum* merupakan sumber daya dari proses pembentukan pada mesin ini. Pompa *vacuum* yang di gunakan memiliki tekanan *vacuum* hingga 20 kPa dengan daya 240 Watt. Pompa *vacuum* diletakkan dibawah *vacuum chamber* agar dapat membuat ruang didalam *vacuum chamber* dalam

keadaan *vacuum* sehingga lembaran plastik yang ada diatas *vacuum chamber* dapat terhisap dan mengikuti bentuk dari *mold*.

e) Motor Servo

Motor servo berfungsi sebagai sumberdaya dalam gerakan naik dan turun *clamp* yang menjepit plastik. Motor servo memiliki *holding* Torsi 9 [kg/cm] dengan daya 7,4 Watt dua fasa. Motor servo di kontrol dengan sistem yang berbasis arduino.

3.3. Analisa Rancangan Alat

Analisa dilakukan untuk mengetahui waktu pemanasan dan pendinginan pada satu kali proses pembuatan produk.

3.3.1. Analisa Kalor pada Udara (Q_{udara})

$$Q_{udara} = m \cdot cv \cdot \Delta T \quad [7]$$

$$Q_{udara} = (1,614 [kg/m^3] \cdot 0,0177 [m^3]) \cdot 718 [J/kg^\circ C] \cdot (150 - 27) [^\circ C]$$

$$Q_{udara} = 1815,4514 [Joule]$$

3.3.2. Analisa Jumlah Kalor pada Material *Polyvinyl chloride rigid sheet* (Q_{PVC})

Suhu awal udara sebesar 27 [°C] dipanaskan hingga suhu 150 [°C]. Volume material *polyvinyl chloride rigid sheet* sebesar 0,00008 [m³] ($c_{pPVC} = 2512,0789 [J/kg^\circ C]$; $\rho_{PVC} = 1350 [kg/m^3]$)

Sehingga, Q_{PVC} adalah:

$$Q_{PVC} = m \cdot cp \cdot \Delta T \quad [8]$$

$$Q_{PVC} = (1350 [kg/m^3] \cdot 0,00008 [m^3]) \cdot 2512,0789 [J/kg^\circ C] \cdot (150 - 27) [^\circ C]$$

$$Q_{PVC} = 33370,4561 [Joule]$$

3.3.3. Analisa Waktu Pemanasan Plastik *Polyvinyl chloride rigid sheet*

$$(Q_{udara} + Q_{PVC}) = P_{Heater} \times t_{PVC} \quad [9]$$

$$(1815,4514 [Joule] + 33370,4561 [Joule]) = 1200 [Watt] \times t_{PS}$$

$$t_{PVC} = 29,3216 [s] \approx 30 [s]$$

3.3.4. Analisa Kalor Konveksi Material plastik

$$Q_{Konveksi} = h \times A \times (T_2 - T_1) \quad [9]$$

$$Q_{Konveksi} = 12,4312 [W/m^2 K] \times 0,16 [m^2] \times (150 - 27) [^\circ C]$$

$$Q_{Konveksi} = 244,646 [Watt]$$

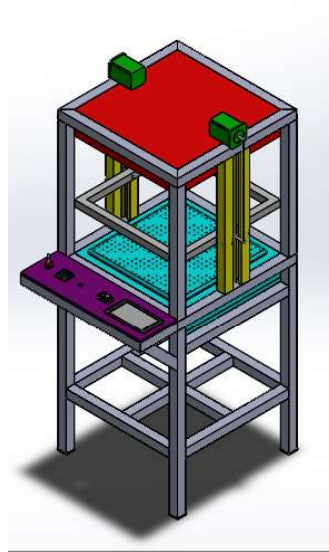
3.3.5. Analisa Waktu Pendinginan *Polyvinyl chloride rigid sheet*

$$Q_{PVC} = Q_{Konveksi} \times t \quad [9]$$

$$\therefore t = 33370,4561 [Joule] / 244,646 [Watt]$$

$$t = 136,4 [s] \approx 137 [s]$$

4. KESIMPULAN



Gambar 3. Hasil Rancangan Mesin Vacuum Forming

Simpulan yang dapat diambil dari rancang bangun mesin *vacuum forming* ini adalah sebagai berikut :

1. Mesin *vacuum forming* memiliki dimensi 580 x 580 x 1420 [mm]
2. Konsumsi daya mesin *vacuum forming* sebesar 2000 [watt]
3. Suhu maksimal *heater* 300 [°C]
4. Waktu pemanasan yang diperlukan untuk mencapai *temperature glass transition* adalah 14 [s]
5. Waktu pendinginan dari material setelah di *forming* adalah 51 [s]
6. Dengan asumsi waktu *setup* 15 detik untuk memasang dan melepas plastik dari *clamp*, maka waktu produksi 1 buah produk adalah 80 [s]

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nusyirwan, "Rekayasa mesin *thermoforming* vaccum," *J. Ilm. Poli Rekayasa*, vol. 2, 2007.
- [2] P. W. Klein, *Fundamentals of Plastics Thermoforming*. Synthesis Lectures on Materials Engineering, 2009.
- [3] A. M. Prakash, P. S. Mahadeo, N. G. Vitthal, D. Ramchandra, and G. P. Ashok, "Design & Development of Vaccum *Forming* Machine," no. 1, pp. 20–24, 2016.
- [4] R. A. Setiawan, "Perancangan ulang mesin *thermoforming* menggunakan metode pendekatan sistematis," 2017.
- [5] B. P. Nugraha, "Mesin *thermoforming* untuk cetakan cokelat," 2009.
- [6] A. E. Pramono, *Elemen Mesin I*, 1st ed. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta, 2015.
- [7] A. E. Pramono, *Elemen Mesin II*, 1st ed. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta, 2015.
- [8] P. Merle C and S. Craig W, *Schaum's Outlines Termodinamika Teknik*, Edisi Kedu. Jakarta: Erlangga, 2011.
- [9] Y. A. Cengel, *Thermodynamics An Engineering Approach*, 5th Editio., vol. 5th Editio. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2008.

Analisis Mekanisme Kegagalan pada Pipa Boiler Menggunakan Metode Root Cause Failure Analysis (RCFA)

Nadiyah Nurul Aini¹; Candra Damis Widiawaty; Nusyirwan

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹nadiyahnurulaini@yahoo.co.id

Abstrak

Permasalahan pada Pembangkit X adalah terjadinya kegagalan pada pipa boiler. Kegagalan pipa yang terjadi diketahui dengan indikasi kebocoran pada boiler unit 7 berupa kelainan suara berada pada daerah economiser serta dengan kebocoran berada pada area Soot Blower No 7 – 11 area Secondary Superheater (SSH out) dengan make up water sudah mencapai 20-22 Ton/Jam. Pengamatan di lapangan menunjukkan adanya deformasi dan pecah pada pipa SSH Out. Tujuan dilakukan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui penyebab utama dari kegagalan pipa boiler dan mekanisme kegagalannya, serta mengetahui solusi untuk mengatasinya agar kegagalan serupa tidak terjadi lagi. Metode pada penelitian ini menggunakan metode Root Cause Failure Analysis (RCFA).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kebocoran pipa boiler disebabkan oleh kegagalan pipa berupa long term overheating. Overheating ini diketahui dengan bukti berupa bentuk pecahan pipa seperti fish mouth. Pada pengecekan secara visual serta pengecekan menggunakan boroscope pada permukaan dalam pipa, menunjukkan adanya kerak yang menempel pada permukaan luar dan dalam tube boiler SSH unit 7. Pada pengujian Scanning Electron Microscope (SEM) ditemukan pula kerak hasil proses oksidasi setebal 619 μm . Selain itu, dilakukan pula hasil pemindaian Electron Dispersive Spectroscopy (EDS) (spektrum 9) membuktikan bahwa kerak itu adalah hasil dari proses oksidasi pada temperatur tinggi dengan kadar Fe sebesar 6.2 % berat. Adanya kerak yang melekat pada pipa – pipa mengakibatkan perpindahan panas dari api ke air atau uap di dalam superheater menjadi terganggu. Tidak lancarnya perpindahan panas menyebabkan dinding pipa sangat tinggi temperaturnya dan material melunak sehingga pipa pecah dan bocor.

Solusi agar kegagalan pipa tidak terjadi dengan melakukan pembersihan kerak pada pipa bagian superheater dengan mengoperasikan sootblower secara berkala, melakukan kontrol excess air sesuai Standar Operasional Prosedur (SOP), dan melakukan uji lab.

Kata kunci: kebocoran pipa, kegagalan pipa, overheating, boiler

Abstract

The problem in Plant X is failure of the boiler pipe. The failure of the pipe that occurred is known by the indication of leakage in the boiler unit 7 in the form of sound abnormality in the area of the economiser and with the leak in the area Soot Blower No. 7 - 11 Secondary Superheater (SSH out) area with make up water has reached 20-22 Ton./Jam. Field observations indicate deformation and rupture in the SSH Out pipeline. The purpose of this research is to know the main cause of boiler pipe failure and its failure mechanism, and to know the solution to overcome it so that similar failure does not happen again. The method of this research using Root Cause Failure Analysis (RCFA) method.

The results of this research indicate that the leakage of the boiler pipe caused by the failure of the pipeline in the form of overheating. Overheating is known by the evidence in the form of pipe shapes such as fish mouth. On checking visually as well as checking using a boroscope on the inside surface of the pipe, indicates the presence of a fouling attached to the outer and inside surface of the boiler tube of SSH unit 7. In Scanning Electron Microscope (SEM) testing, there were also 619 μm of oxidation process crust. In addition, an Electron Dispersive Spectroscopy (EDS) scan (spectrum 9) was performed, proving that the crust was the result of oxidation at high temperatures with a Fe content of 6.2 wt%. The presence of a crust attached to the pipes causes the transfer of heat from fire to water or steam in the superheater to be disturbed. No smooth heat transfer causes the pipe wall to be very high in temperature and the material softens so that the pipe rupture and leaks.

The solution to pipe failure does not occur by cleansing the pipe on the superheater pipeline by operating the sootblower periodically, performing the excess water control according to the SOP, and performing the lab test.

Keywords: pipeline leakage, pipe failure, overheating, boiler

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Permasalahan pada Pembangkit X adalah terjadinya kegagalan pada pipa boiler. Kegagalan pipa yang terjadi diketahui dengan indikasi kebocoran pada boiler unit 7 berupa kelainan suara berada pada

daerah economiser serta dengan kebocoran berada pada area *Soot Blower* No 7 – 11 area *Secondary Superheater* SSH out dengan *make up water* sudah mencapai 20-22 Ton/Jam.

Boiler beroperasi pada tekanan tinggi dan temperatur tinggi. Ketika umur pipa boiler mencapai batasnya akan terjadi kegagalan. Temperatur tinggi pada luar pipa, tekanan tinggi yang ada di dalam, dan juga api yang telah terkontaminasi dengan residu yang bersifat korosif dalam jumlah waktu yang lama akan menyebabkan kegagalan pada pipa [1].

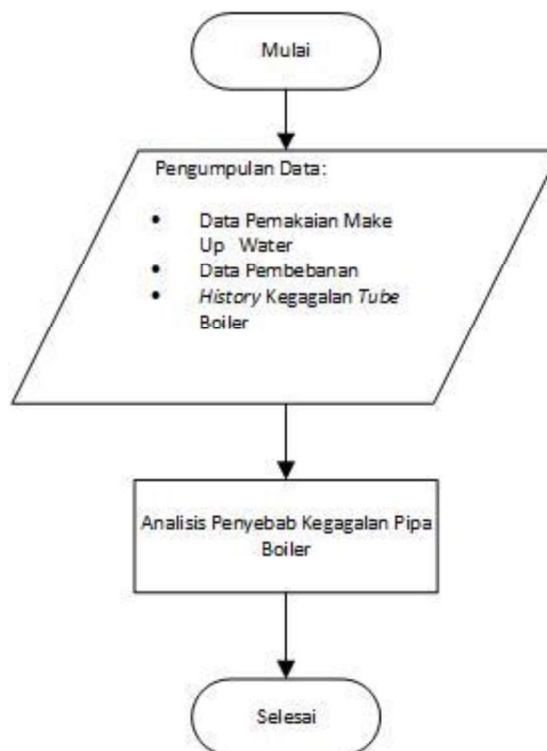
Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Erwin Siahaan dengan menggunakan *Root Cause Failure Method*, dan Scanning Electron Microscope (SEM), Optical Emission Spectroscopy (OES), dan Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, maka diperoleh hasil pengujian bahwa lokasi kerusakan pipa didominasi oleh kandungan unsur oksigen serta berdasarkan *fault-tree analysis* diperoleh, banyaknya kerusakan tertinggi yaitu akibat *creep*, maka mekanisme kegagalan hydrogen embrittlement dan *stress-corrosion cracking* terbukti tidak terjadi. Jadi penyebab kegagalan pada pipa *waterwall* adalah karena mekanisme *long term overheating* atau *high temperature creep* [2].

Mekanisme kegagalan pipa yang terjadi akan dilakukan analisis menggunakan metode Root Cause Failure Analysis Methodology (RCFA). Metode ini dilakukan dengan beberapa tahapan yakni, *reporting an accident or problem, incident classification, data gathering, design review, application/maintenance review, observation and measurement, determining the root cause, cost benefit analysis, report and recommendation, and verify corrective action* [3].

1.2 Tujuan Penelitian

- Mengetahui jenis kegagalan yang terjadi pada pipa boiler pada pembangkit X.
- Melakukan analisis penyebab mekanisme kegagalan pada pipa boiler menggunakan metode RCFA.
- Mengetahui solusi untuk mengatasi kegagalan pada pipa boiler.

II. METODE PENELITIAN



Gambar 2.1 Alur Penelitian

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa design spesifikasi boiler, data material dari *superheater*; data pemakaian *make up water* dan beban 24 jam sebelumnya, *history* kerusakan boiler yang pernah terjadi serta melakukan wawancara pula dengan tenaga ahli yang berhubungan dengan objek yang diamati.

2. Analisis Penyebab Kegagalan pada Pipa Boiler

Setelah melakukan pengambilan dan pengumpulan data, data tersebut dianalisis berdasarkan teori yang berlaku sesuai dengan objek yang menjadi permasalahan.

- Analisis Mekanisme Kegagalan pada Pipa Boiler
Metode yang digunakan untuk menganalisa kegagalan pipa pada boiler adalah RCFA. RCFA adalah urutan langkah-langkah untuk menemukan akar penyebab suatu masalah melalui proses mengisolasi fakta-fakta seputar suatu peristiwa atau kegagalan. Setelah akar penyebab ditemukan, analisis secara sistematis menentukan tindakan terbaik yang akan menyelesaikan acara dan memastikan bahwa itu tidak terulang [3].
- Analisis Kondisi Pipa
Mengetahui kondisi pipa yang mengalami kegagalan dengan melakukan proses pemotongan pipa. Pipa yang telah dipotong tersebut, diidentifikasi berdasarkan ciri – ciri fisik pipa tersebut.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Spesifikasi *Tube Superheater*

Tabel 3.1 Design Boiler Unit 5-7

Design Boiler Unit 5-7	
Manufacture	Babcock Wilcox
Type	Radian
Pressure Drum / Superheater outlet	184 kg / cm ²
Flow Steam	1.168 Ton / jam
Temperature Superheater dan Reheater outlet	540 °C
Pressure Reheater outlet	38 kg / cm ²
Flow Reheater Outlet	1.022 Ton / jam
Coal / oil burner	36 pcs

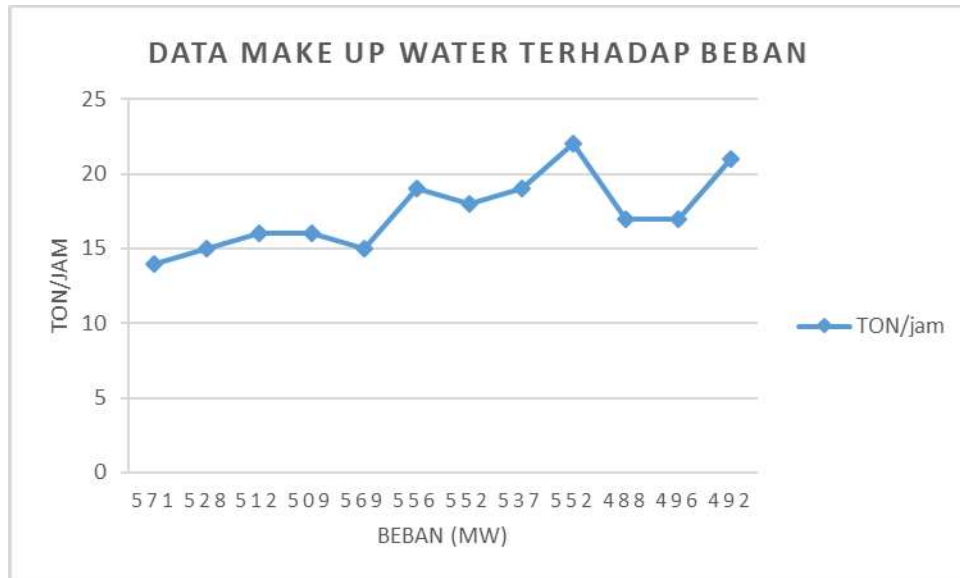
Tabel 3.2 Design Economiser

Design ECONOMISER MIN THICK : 8 MM		
Material	SA 213 T22	
OD	2“	50,8 mm
Thickness	0.3 – 0,4 “	8 – 11,5 mm

3.2 Indikasi Awal Terjadinya Kebocoran

Boiler beroperasi secara terus menerus untuk menghasilkan uap sesuai kebutuhan, bagian-bagian boiler bekerja terberat adalah *tube-tube*. *Economiser* mendapat panas dari pembakaran batu bara secara konveksi sama dengan *superheater*, *reheater* sedangkan *wall tube* mendapatkan panas secara radiasi. Pada bulan september tahun 2017, diketahui adanya kebocoran pada *tube* boiler dengan indikasi awal berupa kelainan suara pada daerah *economiser* serta diketahui dengan pemakaian *make up water* sudah mencapai 20-22 ton/jam. Pada tanggal 13 September 2017 dilakukan pengambilan data *make up water* yang terlihat pada gambar 3.1 membentuk grafik pemakaian *make up water* terhadap beban yang dihasilkan, berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa pemakaian *make up water* pada *range* beban 571-569 masih mengalami

pemakaian secara normal yakni 14-16 ton/jam. Tetapi setelah itu pada *range* beban yang tidak jauh beda bahkan beban yang semakin turun pemakaian *make up water* meningkat sampai dengan 22 ton/jam di luar batas normalnya. Adanya pemakaian *make up water* di atas batas normalnya, menjadi indikasi terjadinya kebocoran.



Gambar 3.1 Grafik Pemakaian Make Up Water terhadap Beban Yang Dihasilkan

3.3 Data *History* Kerusakan Tube Boiler

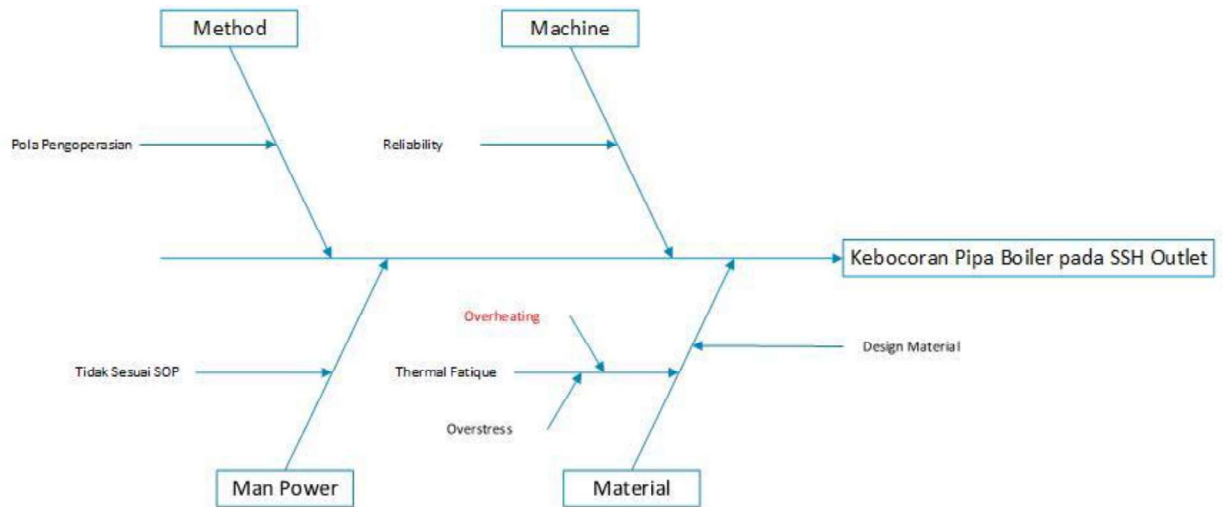
Tabel 3.3 History Kerusakan Tube Boiler 2015-2017

No	Tanggal Terjadi Kegagalan Pipa Boiler	Lokasi Terjadi Kegagalan Pipa Boiler	Penyebab Kegagalan Pipa Boiler
1.	16 Januari 2015	Walltube Opening Sootblower	Erosi
2.	31 Mei 2016	Tube Boiler Area 135	Erosi

Berdasarkan *history* kerusakan boiler yang terjadi pada pembangkit X untuk kegagalan pipa yang pernah terjadi sejak tahun 2015 sampai 2017 baru terjadi 2 kali kegagalan yang diakibatkan oleh erosi. Sedangkan kegagalan pipa yang terjadi pada tahun 2017 ini, diperikarakan mengalami jenis kegagalan yang berbeda dari tahun sebelumnya. Oleh karena itu, fenomena berupa kegagalan pipa ini harus dilakukan tindak lanjut agar mengetahui jenis kegagalan apa yang terjadi.

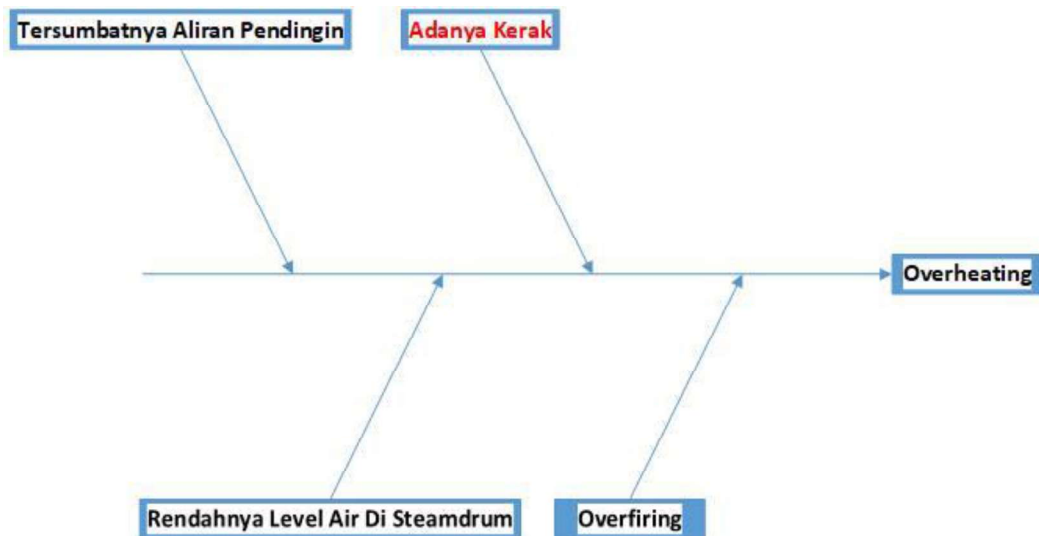
3.4 Analisis Penyebab Terjadinya Kegagalan Pipa Boiler

1. Analisis Menggunakan Metode RCFA



Gambar 3.2 Fishbone Diagram Kebocoran Pipa Boiler

Berdasarkan *fishbone diagram* di atas, menunjukkan faktor penyebab terjadinya kebocoran pada pipa boiler yang disebabkan oleh *thermal fatigue* pada material yakni, *overheating*. Untuk membuktikan bahwa kebocoran pipa boiler karena *overheating* pada material pipa, maka dibutuhkan analisis lebih lanjut. Berikut analisis menggunakan *fishbone diagram*:



Gambar 3.3 Fishbone Diagram Overheating

Berdasarkan *fishbone diagram* di atas, penyebab terjadinya *overheating* pada pipa boiler karena adanya kerak. Untuk mengetahui alasan adanya kerak pada pipa boiler maka dilakukan analisis lebih lanjut.

2. Pengecekan Secara Visual

Berdasarkan hasil inspeksi visual terlihat pecahan pipa dalam arah circumferential. Pecahan pipa menonjol ke arah luar dan berbentuk seperti *fish mouth*, bentuk pecahan seperti ini menjadi salah satu ciri-ciri terjadinya kegagalan pipa berupa *overheating* [4]. Selain itu ditemukan pula kerak yang menempel pada permukaan luar dan dalam pipa.



Gambar 3.4 Bentuk Pecahan Pipa SSH

Setelah itu dilakukan pengukuran ketebalan dinding pipa di daerah sekeliling pecahan. Nilai ketebalan terkecil sebesar 5, 89 mm di daerah paling dekat dengan pecahan. Sedangkan bagian di kanan dan kiri pipa yang jauh dari pecahan sebesar 7, 35 mm. Adapula pengukuran diameter pipa. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa diameter dalam sebesar 35 mm dan diameter luar sebesar 51 mm. Berdasarkan identifikasi awal berupa pengecekan secara visual, kegagalan pipa yang terjadi masuk dalam kategori visual berupa *overheating*.

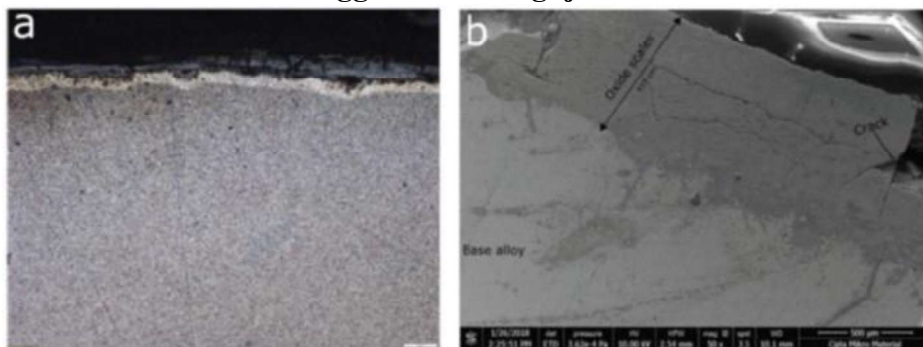
3. Pengecekan Bagian Dalam Pipa Dengan Boroscope

Identifikasi lanjut untuk mengetahui keadaan di dalam pipa dengan pengecekan menggunakan boroscope. Terlihat seluruh permukaan dalam pipa tertutup oleh kerak.

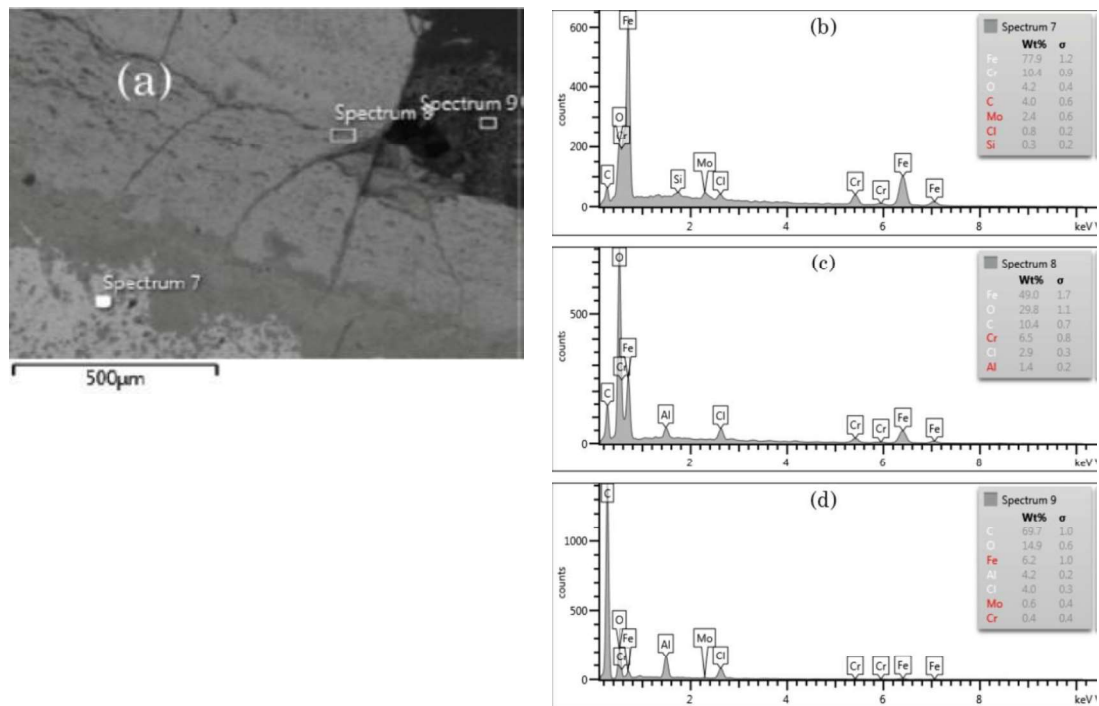


Gambar 3.5 Hasil pemeriksaan pipa dengan boroscope

4. Analisis Pembuktian Menggunakan Pengujian



Gambar 3.6 Citra mikroskop optik oxide scale (a), citra mikroskop electron (SEM) dari oxide scale (b)



Gambar 3.7 Citra mikroskop electron SEM (a), spectrum EDS daerah 7 (terang), 8 (antara terang dan gelap), dan 9 (gelap) dari oxide scale pada pipa pecah pada bagian tengah

Berdasarkan hasil pemeriksaan struktur mikro dengan menggunakan mikroskop electron (SEM) perbesaran 50 x untuk kerak pada pipa pecah bagian tengah ditemukan kerak hasil proses oksidasi setebal 619 µm. Hasil pemindaian EDS (spektrum 9) membuktikan bahwa kerak itu adalah hasil dari proses oksidasi pada temperatur tinggi dengan kadar Fe sebesar 6.2 % berat. Komposisi unsur karbon sebesar 69 % yang berada di bagian permukaan merupakan kerak dari hasil pengendapan garam-garam di permukaan dalam pipa atau penempelan abu cair dari gas buang.

Berdasarkan hasil pengujian EDS *tube boiler*, logam mengalami oksidasi pada semua suhu, laju oksidasi meningkat dari nilai yang sangat kecil pada suhu ruang hingga nilai yang sangat tinggi pada suhu tinggi dengan cara difusi unsur Fe. Terjadinya oksidasi dibuktikan oleh hasil pemindaian komposisi lokal (EDS) kerak oksida pada spektrum nomor 9. Pada spektrum itu tercantum komposisi Fe = 6.2 % berat, yaitu jumlah unsur besi yang berdifusi dan teroksidasi pada kerak.

Adanya bukti berupa kerak yang ada pada permukaan pipa ini menjadi penyebab utama terjadinya kebocoran pipa boiler yang disebabkan oleh *overheating* [5]. Kerak yang ada mengakibatkan perpindahan panas dari api ke air atau uap di dalam pipa *superheater* menjadi terganggu. Tidak lancarnya perpindahan panas menyebabkan proses pengubahan uap jenuh menjadi uap yang dipanaskan lanjut tidak efisien. Disamping itu dari pengamatan terhadap potongan pipa terlihat terjadinya penipisan dinding atau pengurangan ketebalan pada bagian dekat pecahan, yang mengindikasikan adanya fenomena mulur (Creep) [6].

IV. KESIMPULAN

- Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan metode *fishbone diagram*, kegagalan yang terjadi di pipa boiler adalah *long term- overheating*
- Berdasarkan hasil pengecekan visual, pengujian dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan pengujian dengan *Electron Dispersive Spectroscopy* (EDS), terbukti bahwa penyebab utama terjadinya kegagalan pada pipa boiler berupa *long term overheating* yang diakibatkan oleh kerak yang menempel pada permukaan pipa baik di dalam maupun luar pipa. Kerak yang ditemukan hasil proses oksidasi setebal 619 µm. Hasil pemindaian EDS (spektrum 9) membuktikan bahwa kerak itu adalah hasil dari proses oksidasi pada temperatur tinggi dengan kadar Fe sebesar 6.2 % berat.
- Solusi agar kegagalan pipa tidak terjadi dengan melakukan pembersihan kerak pada pipa bagian *superheater* dengan mengoperasikan *sootblower* secara berkala, melakukan kontrol *excess air* sesuai SOP, dan melakukan uji lab.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Adrian, L. Noerochim and B. A. Kurniawan, "Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *Jurnal Teknik*, vol. 5, p. F148, 2016.
- [2] E. Siahaan, "Karakteristik Sifat Mekanis Kerusakan Pipa Water Tube Boiler," 2015.
- [3] R. K. Mobley, *Root Cause Failure Analysis*, 1943.
- [4] B. Prakash, *Boiler Tube Failures*, 2013.
- [5] EPRI, *Boiler Condition Assessment Guideline*, 2006.
- [6] NALCO An Ecolab Company, *Boiler Tube Failure*.

ANALISIS PEFORMA AIR HEATER PLTU BATU BARA BERDASARKAN PERHITUNGAN
ASME PTC 4.3

Muhammad Yahya Ayasy , Jusafwar , Sonki Prasetya

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik , Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
muhammadyahya.ayasy@yahoo.com

Abstrak

Pemanas udara regeneratif pada pembangkit tenaga uap (PLTU) adalah pemanas udara pembakaran yang di pompa oleh kipas lalu meyerap panas gas buang dan menuju ke dalam boiler. Proses perpindahan panas terjadi karena adanya elemen yang berputar sehingga energi panas dari udara pembakaran diserap oleh lembaran logam pada elemen yang dibentuk secara khusus. Penggunaan pemanas udara dapat menambah efisiensi termal unit hingga 10%. Ini berarti menghemat penggunaan bahan bakar sebesar energi panas yang digunakan kembali pada pemanas udara. Penurunan peforma pemanas udara akan menurunkan peforma unit sehingga dapat memberikan dampak kerugian bagi suatu pembangkit. Maka untuk menanggulangnya diperlukan pemeliharaan secara tepat untuk dapat mencegah penurunan peforma pada di pemanas udara. Terdapat beberapa parameter pemeliharaan yang diperlukan untuk menjaga peforma air heater. Parameter pemeliharaan tersebut dapat dianalisis untuk mendapatkan peforma hal apa saja yang perlu dioptimalkan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan parameter pemeliharaan yang harus dilakukan untuk meningkatkan kembali nilai dari peforma pemanas udara. Evaluasi pemanas udara dilakukan berdasarkan ASME PTC 4.3 untuk mengetahui peforma kerja pemanas udara yang digunakan pada PLTU Suralaya dengan merujuk pada parameter efisiensi sisi gas (gas side efficiency) dan juga kebocoran (air heater leakage). Adapun evaluasi didasarkan oleh kondisi kerja saat beban maksimal dan nilai kalori batu bara yang diasumsikan sama. Peforma dievaluasi dalam waktu 6 bulan berturut turut lalu di bandingkan dengan nilai peforma saat komisioning. Lalu penurunan peforma akan di analisis dengan fault tree analysis untuk menentukan penyebab menurunnya nilai efisiensi sisi gas dan bertambahnya nilai kebocoran.

Kata kunci: peforma pemanas udara ASME PTC 4.3, fault tree analysis, pemeliharaan.

Abstract

Regenerative air heater at steam power plant (PLTU) is an air heater driven by a fan and gas into the boiler. The heat transfer process occurs because of the rotating element so that the heat energy of the combustion air is absorbed by the metal sheet on specially formed elements. The use of an air heater can increase the thermal efficiency of the unit by up to 10%. This means saving fuel usage of heat energy reused in water heater. Decrease of peforma air heater will reduce the performance of the unit so that it can give a loss impact for a plant. So to overcome it required proper maintenance to prevent the decrease of performance on the air heater. There are several maintenance parameters required to maintain the performance of the air heater. The maintenance parameters can be analyzed to get the performance of what things need to be optimized. This study aims to provide maintenance parameters that must be done to improve the return value of the air heater performance. Evaluation of air heater is done based on ASME PTC 4.3 to know the performance of air heater used in PLTU Suralaya with reference parameters to gas side efficiency and air heater leakage. The evaluation is based on working conditions when the maximum load and the calorific value of coal are assumed to be the same. Performance is evaluated within 6 consecutive months in comparison with the value of performance during commissioning. Then the performance decline will be analyzed with a fault tree analysis to determine the cause of decreasing the efficiency value of the gas side and increasing the leakage value.

Keywords: air heater permormance , ASME PTC 4.3, fault tree analysis, maintenance.

I. PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Kebutuhan listrik yang semakin meningkat di era modern menuntut produksi listrik yang handal pula. Oleh sebab itu, digunakan alat – alat pembangkitan dengan efisiensi yang tinggi dalam proses generasi listrik. Dalam sebuah Pembangkit Listrik Tenaga uap (PLTU) digunakan boiler untuk merubah fase air menjadi uap yang akan memutar turbin dan generator. Boiler PLTU menggunakan bahan bakar batubara sebagai sumber panas yang digunakan untuk memanaskan air, sehingga boiler ditunjang oleh komponen tambahan (auxiliary component) [1]. Boiler modern berkapasitas besar menggunakan air heater yang

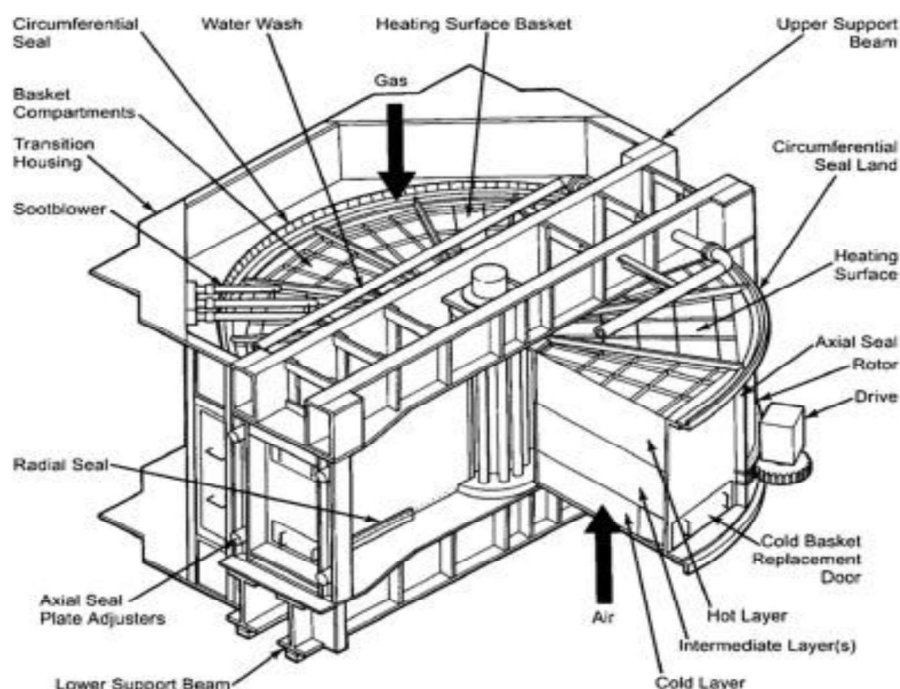
merupakan komponen tambahan (*auxiliary component*) penting dari *boiler* yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi. Fungsi utama *air heater* untuk memanaskan udara pembakaran di dalam *boiler*. Jika udara yang masuk untuk pembakaran tidak memiliki panas sesuai maka konsumsi bahan bakar lebih banyak untuk mencapai pembakaran sempurna dan ini akan meningkatkan biaya dan mengurangi efisiensi. Ada banyak faktor yang bergantung pada kinerja pemanas udara seperti kebocoran seal yang tinggi, *fouling* dan penyumbatan pada *heating element* [2].

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Shruti, G yang meneliti evaluasi dan optimasi performa dari *air heater* pada thermal power plant menjelaskan bahwa performa air heater dipengaruhi oleh besarnya presentase *leakage* dan kemampuan heating elements untuk dapat menyerap panas gas buang [3]. Vinad, K, dkk meneliti kebocoran pada seal dengan CFD modeling dan simulasi pada pembangkit 500 MW, menunjukkan bahwa pengaruh *leakage* sangat menentukan performa dari air heater [4]. Lal. Bahari meena, dkk menganalisis performa *air heater* terhadap keuntungan ekonomi yang diperoleh, menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai performa dan keuntungan berupa penghematan konsumsi energi dari melakukan setting ulang pada seal untuk menurunkan nilai *leakage air heater* [2]. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa *leakage* dan perpindahan panas sangat mempengaruhi performa air heater dan mempengaruhi juga terhadap keuntungan perusahaan pembangkitan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis penyebab penurunan performa pada air heater, pengaruh penurunan performa air heater terhadap nilai efisiensi boiler dan solusi pemeliharaan untuk menjaga performa pada air heater.

1.2 AIR HEATER

Air heater pada PLTU merupakan komponen bantu yang terdapat pada *boiler* yang berfungsi untuk memanaskan udara pembakaran untuk mengurangi kadar kelembaban air pada batubara dan udara pembakaran dengan memanfaatkan panas keluaran boiler yang sudah tidak dapat lagi digunakan untuk memanaskan air umpan. Hal ini memberikan keuntungan dengan peningkatan efisiensi unit hingga 10%. Ini berarti menghemat penggunaan bahan bakar sebesar energi panas yang digunakan kembali pada *air heater*. [1]

Pada PLTU Suralaya digunakan *air heater* tipe *re-generatif, bi-sector, poros vertical*, dan pada terdapat dua jenis *air heater* yaitu dua buah *primary air heater* sebagai pemanas udara yang berfungsi untuk mentransfer batu bara yang keluar dari *primary air fan* dan dua buah *secondary air heater* untuk memanaskan udara pembakaran yang keluar melalui *force draft fan*. Sumber panas didapat dari gas hasil pembakaran (*flue gas*) yang masih mempunyai temperatur hingga 420 °C sehingga energi panasnya masih dapat digunakan kembali untuk memanaskan udara pembakaran yang akan dihembuskan ke *boiler*.



Gambar.1 Regenerative Air Heater [6]

II. METODE PENELITIAN

Studi ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Metode studi literatur
Studi literatur pengumpulan data dengan membaca jurnal ilmiah, *manual book*, referensi terkait performa pada *air heater*.
2. Observasi lapangan
Observasi lapangan dilakukan dengan melihat parameter yang terdapat di *control room* dan mengikuti proses pengambilan sampel *performance test* pada *air heater* unit 6 untuk mendapatkan contoh prosedur tes performa dan data yang dibutuhkan untuk proses perhitungan.
3. Perhitungan performa *air heater*
Sebuah *air heater* bekerja dengan kondisi konstan, artinya tidak ada kontrol volume, aliran, maupun tekanan dalam udara dan gas buang yang mengalir melalui *air heater*. Mekanisme *sealing device* mencegah aliran udara dan gas buang yang mengalir melalui sisi – sisi elemen *air heater* yang disebut dengan *leakage*. Sehingga parameter kerja sebuah *air heater* dapat dilihat dari efisiensi sisi gas serta kondisi *leakage* [5].
Performa *air heater* di hitung dengan metode ASME 4.3 dengan data yang diperoleh selama 6 bulan pada tes performa yang telah dilakukan pada beban 600 MW.
4. Analisis penurunan performa
Menganalisis penyebab penurunan performa pada *air heater* dengan metode *fault tree analysis*. Hasil dari perbandingan nilai performa *air heater* yang dilakukan di masing-masing bulan berbeda kemudian dianalisis. Analisis dilakukan untuk mengetahui penyebab penurunan performa *air heater*.
5. Hasil Akhir
Hasil dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat diketahui penyebab nilai grafik performa dan efisiensi *boiler* tidak optimal lalu memberikan solusi pemeliharaan pada komponen untuk meningkatkan nilai performa *air heater*.

2.1 Perhitungan Kebocoran *air heater*

Kebocoran desain untuk pemanas udara regeneratif bervariasi dari 5% hingga 15% tetapi meningkat seiring waktu karena sistem penyegelan memburuk. Kebocoran udara dapat dihitung langsung sebagai perbedaan mengalir di antara saluran masuk dan saluran keluar baik untuk gas buang atau aliran udara, Namun, sulit untuk mendapatkan pengukuran kecepatan yang akurat dalam saluran besar seperti halnya di pembangkit listrik [6]. Maka lebih akurat bisa dihitung dengan presentase karbon dioksida yang diukur pada sisi masuk dan keluar dari gas buang dan udara sesuai dengan ASME 4.3 *Air heater performance*. Perhitungan *Air Heater Leakage* :

$$\% \text{ Leakage} = \frac{\% \text{ CO}_2 \text{ gas entering AH} - \% \text{ CO}_2 \text{ gas leaving AH}}{\% \text{ CO}_2 \text{ gas leaving AH}} \times 90 \dots \dots \dots (3.1)$$

2.2 Perhitungan Efisiensi sisi gas *air heater*

Efisiensi sisi gas (*Gas Side Efficiency*) menyatakan energi panas yang dapat dipindahkan dari gas buang ke udara yang melewati *air heater* dibandingkan dengan kondisi idealnya. Kondisi ideal merupakan kondisi dimana tidak terjadi *leakage* [1]. Ketika kondisi di dalam pemanas udara memburuk (*baskets wear, ash pluggage, dll*), efisiensi sisi gas pemanas udara menurun. Hal ini umumnya disertai dengan peningkatan suhu gas keluar dan penurunan suhu udara keluar *air heater*, dan menghasilkan peningkatan heat rate unit [7]. Perhitungan efisiensi gas :

$$\eta_G = \frac{t_{G14} - t_{G15NL}}{t_{G14} - t_{A8}} \times 100 \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

- tG14 : Temperatur gas buang masuk *air heater*
- tG15NL : Temperatur gas buang keluar *air heater* jika tidak terjadi kebocoran (kondisi ideal)
- tA8 : Temperatur udara masuk *air heater*

Untuk nilai $tG15NL$ dapat dicari dengan persamaan 3 berikut :

$$tG15NL = \frac{AL \times (tG15 - tA8)}{100} + tG15 \dots \dots \dots (3.3)$$

Dimana :

AL : Presentase kebocoran air heater

$tG15$: Temperatur gas buang keluar air heater

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kebocoran Air heater

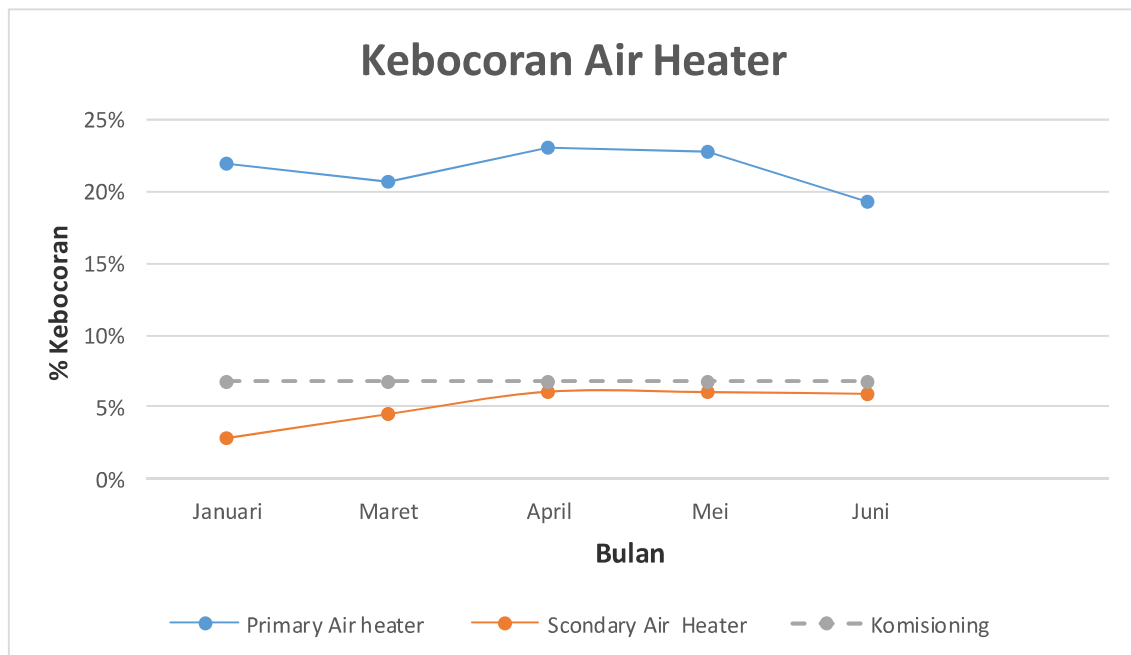
Perhitungan kobocoran air heater diperlukan data berupa kandungan CO_2 pada sisi masuk dan keluar air heater untuk mengetahui nilai dari kebocoran. Perhitungan kebocoran dengan metode menghitung kandungan dari CO_2 ini mempunyai kelebihan yaitu memiliki nilai *error* yang kecil dan mendekati nilai yang aktual. Data kandungan CO_2 disajikan dalam tabel 1 berikut ini.

Tabel.1 Data kandungan CO_2

Unit		Bulan	CO_2	Kebocoran	
6	Primary air heater	Januari	6A Inlet	16.1 %	15 %
			6A Outlet	13.8%	
			6B Inlet	16 %	29 %
			6B Outlet	12 %	
	Secondary air heater		6A Inlet	16,5 %	2.23 %
			6A Outlet	16.1 %	
			6B Inlet	16.7 %	3.35 %
			6B Outlet	16.1 %	
	Primary air heater	Maret	6A Inlet	16.9 %	12.08 %
			6A Outlet	14.9 %	
			6B Inlet	16.4 %	29.5%
			6B Outlet	12.2 %	
Secondary air heater	6A Inlet		16.9 %	5.06 %	
	6A Outlet		16 %		
	6B Inlet		16.9 %	3.88 %	
	6B Outlet		16.2 %		
Primary air heater	April	6A Inlet	14 %	14.13 %	
		6A Outlet	12.1 %		
		6B Inlet	13.3 %	32.14 %	
		6B Outlet	9.8 %		
Secondary air heater		6A Inlet	14.1 %	7.61 %	
		6A Outlet	13 %		
		6B Inlet	13.7 %	4.84 %	
		6B Outlet	13 %		
Primary air	6A Inlet	Mei	14.4 %	12.86 %	

	heater	6A Outlet	Juni	12.6 %	32.88 %
		6B Inlet		14.2 %	
		6B Outlet		10.4 %	
	Secondary air heater	6A Inlet		14.5 %	7.38 %
		6A Outlet		13.4 %	
		6B Inlet		14.2 %	4.67 %
		6B Outlet		13.5 %	
	Primary air heater	6A Inlet		14.6 %	14.29 %
		6A Outlet		12.6 %	
		6B Inlet		14.5 %	24.47 %
		6B Outlet		11.4 %	
	Secondary air heater	6A Inlet		14.7 %	5.18 %
6A Outlet		13.9 %			
6B Inlet		14.6 %	6.62 %		
6B Outlet		12.6 %			

Berdasarkan tabel. 1 diatas maka di didapat nilai persentasi kebocoran pada *air heater* seperti berikut



Gambar.2 Grafik Kebocoran pada *Air Heater*

Nilai kebocoran yang dilihat dari kandungan CO₂ pada *air heater* seperti pada gambar 2. Didapat bahwa nilai kebocoran pada *primary air heater* sangat tinggi pada setiap bulannya dan rata-rata kebocorannya sebesar 20%, namun pada bulan february pada peforma tes yang dilakukan menunjukkan nilai kebocoran sebesar 0%. Ini dapat terjadi kemungkinan disebabkan oleh alat ukur yang digunakan saat tes peforma tidak terkalibrasi dengan baik sehingga dapat mengakibatkan nilai *error* pada sampel yang di ukur. Nilai kebocoran dari *secondary air heater* pada grafik diatas menunjukkan kebocoran rata-rata sebesar 5% dan ini baik karena desain nilai kebocoran untuk *preheaters* udara regeneratif bervariasi dari 5% hingga 15% tetapi meningkat seiring waktu karena sistem *seal* memburuk [6].

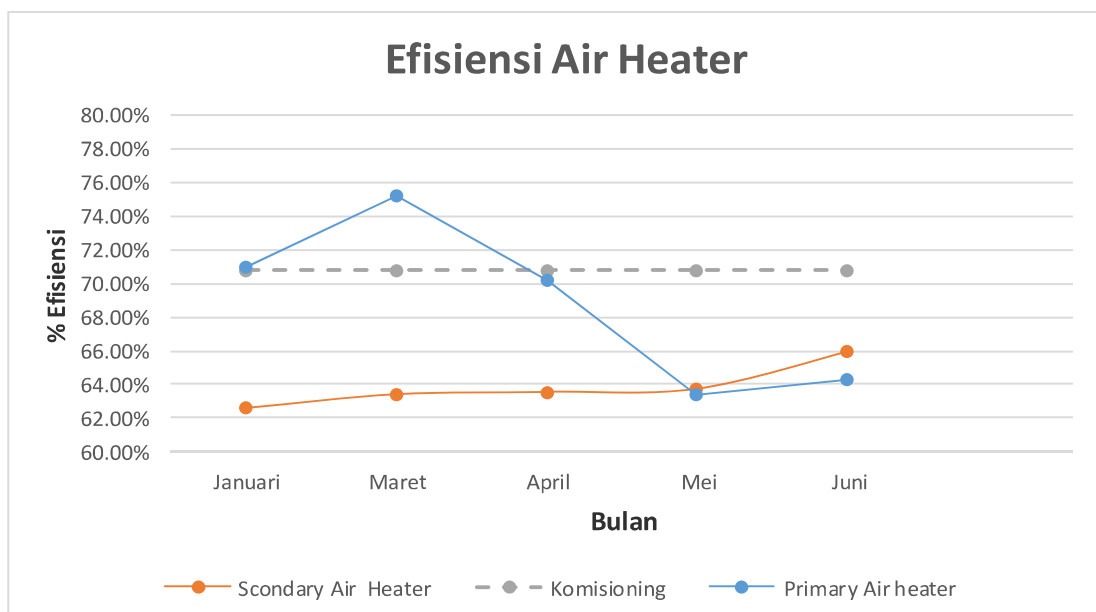
3.2 Efisiensi Air heater

Perhitungan Efisiensi Air heater *air heater* dihitung dari penurunan temperature yang terjadi pada *air heater* pada kondisi ideal. Maka diperlukan data berupa *temperature* udara dan gas buang sebelum dan setelah melewati *air heater*. Data temperatur pada air heater akan di tampilkan dalam tabel.2 berikut.

Tabel.2 Data Temperatur *Air Heater*

Bulan	Unit		Temperatur				Efisiensi
			tA8	tG14	tG15	tG15NL	
Januari	Primary Air Heater	A	45.22 °C	328.86 °C	135.90°C	140.51°C	71.3 %
		B	43.03 °C	399.34 °C	124.49°C	148.11°C	70.5 %
	Secondary Air heater	A	34.77 °C	412.49 °C	170.34°C	173.36°C	63.3 %
		B	34.52 °C	416.67 °C	175.49°C	180.21°C	61.87 %
Maret	Primary Air Heater	A	42.41 °C	412.31 °C	120.56 °C	130 °C	76.32 %
		B	42.19 °C	422.63°C	117.79°C	140.1 °C	74.2 %
	Secondary Air heater	A	33.98 °C	426.08 °C	160.27°C	167.34°C	65.98 %
		B	33.87°C	439.95 °C	186.76°C	192.7°C	60.8 %
April	Primary Air Heater	A	45.22 °C	406.85 °C	135.90 °C	148.71 °C	71.37 %
		B	44.41 °C	411.11°C	130.38 °C	157.89 °C	69.1 %
	Secondary Air heater	A	36.64 °C	429 °C	161.52°C	171.02°C	65.74%
		B	36.58 °C	431.71 °C	182.36°C	189.41°C	61.32 %
Mei	Primary Air Heater	A	44.65 °C	405.1 °C	162.32 °C	177.45 °C	63 %
		B	43.39 °C	417.05°C	145.2 °C	176.67 °C	63.79 %
	Secondary Air heater	A	35.22 °C	420.62 °C	159.44 °C	168.6°C	65.38 %
		B	35.42°C	432.13 °C	179.32 °C	186.04°C	62.03 %
Juni	Primary Air Heater	A	45.35 °C	398.35 °C	143.27 °C	156.12 °C	60.5 %
		B	44.87 °C	410.3°C	138.9 °C	161.91 °C	67.97 %
	Secondary Air heater	A	36.78 °C	410.71 °C	154.37 °C	160.46 °C	66.9 %
		B	36.63 °C	422.12 °C	163.05 °C	171.84 °C	64.92

Berdasarkan tabel.2 data temperature yang ada pada *air heater* maka di didapat nilai persentasi efisiensi air heater berupa efisiensi sisi gas sebagai berikut.



Gambar.3 Grafik Efisiensi pada Air Heater

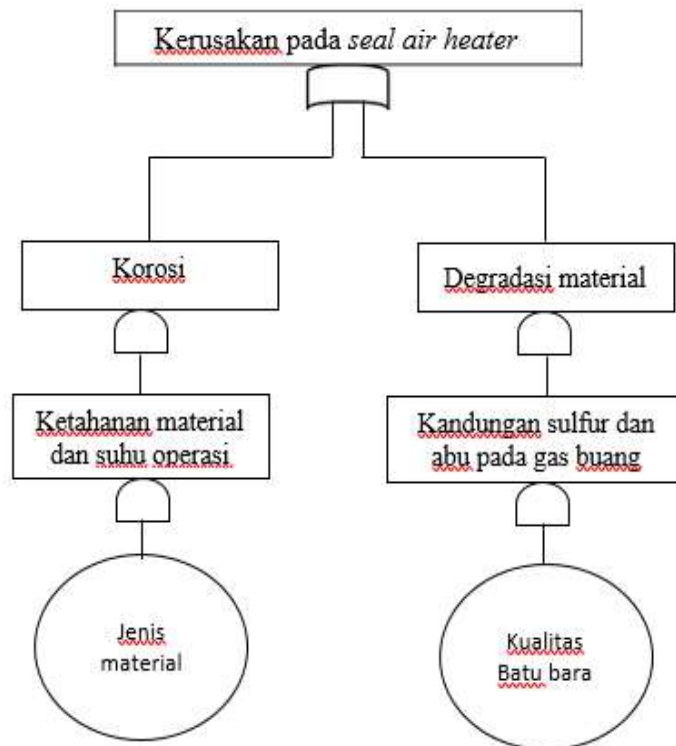
Pada nilai grafik efisiensi air heater didapat bahwa efisiensi yang dilihat dari parameter temperatur pada air heater seperti pada gambar 3. Didapat bahwa nilai efisiensi pada *primary air heater* secara umum lebih baik dari pada *secondary air heater* meskipun nilai kebocorannya sangat tinggi, nilai rata rata efisiensi pada *primary air heater* sebesar 68%, ini karena efisiensi pada *air heater* dipengaruhi oleh penyerapan panas dari gas buang pada *heating element* atau elemen pemanas dan mentransfer ke udara pembakaran.

4.3 Analisis Penurunan Peforma Air heater

Identifikasi penurunan peforma peralatan *air heater* diperlukan untuk mengetahui akar penyebab kerusakan. Jika penyebab kerusakan dapat diminimalisir, maka akan mencegah terulangnya kembali peristiwa kerusakan. Analisis penurunan peforma pada *air heater* dilakukan dengan metode *fault tree analysis*. Metode tersebut untuk menganalisis penyebab permasalahan dengan menggabungkan semua kemungkinan yang menjadi penyebab kerusakan.

4.3.1 Analisis Penyebab kebocoran

Menurunnya peforma air heater dengan indikasi bertambahnya nilai kebocoran yang tidak wajar seperti yang terjadi pada *primary air heater* unit 6 disebabkan oleh system penyegelan kebocoran atau sealing system yang mengalami kerusakan atau tidak sesuai standar, maka kerusakan pada *seal* di cari berdasarkan metode *fault tree analysis* yaitu :



Gambar 4. Analisis penyebab kebocoran pada air heater

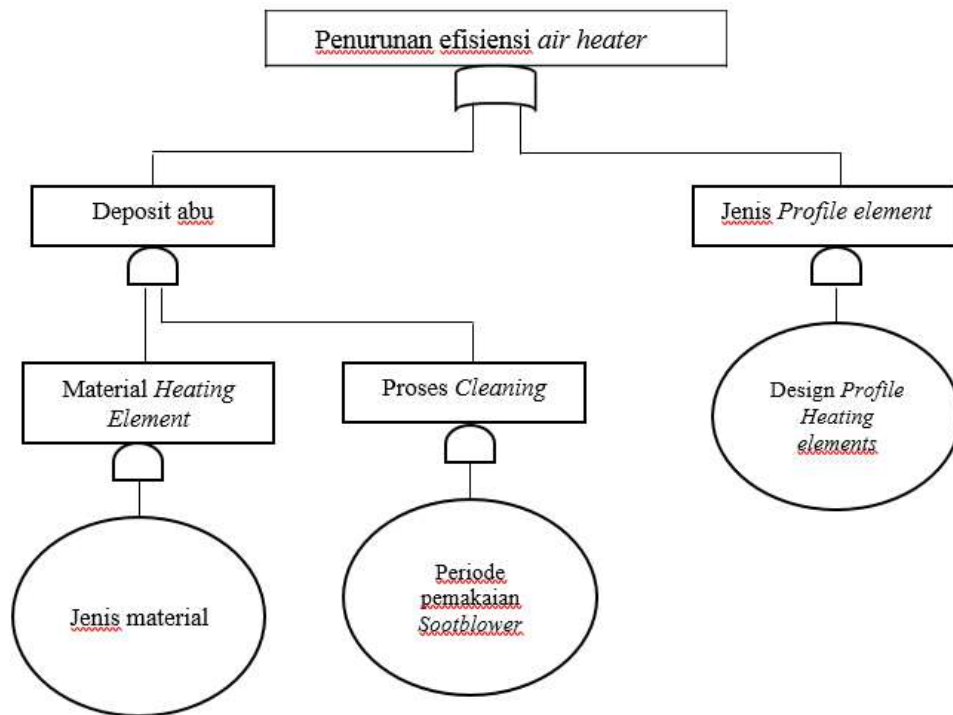
Analisis penyebab kebocoran pada gambar 4 di dapat bahwa Material *seal* mengalami korosi akibat fluida yang mengalir melewati *air heater* di dalamnya sangat tinggi turbulensinya dan suhu yang mencapai 420 °C juga mempercepat laju korosi. Lalu erosi akibat faktor gas buang hasil pembakaran yang mengandung sulfur dan unsur kimia lainnya di dalam fluida gas buang menimbulkan erosi pada material. Korosi juga akan menyebabkan degradasi atau terkikisnya material pada *seal* sehingga membuat kebocoran udara yaitu lewatnya udara pembakaran menuju ke sisi gas buang yang akan menuju *stack*.

Maka parameter pemeliharaan untuk mencegah kebocoran yang akan menurunkan peforma *air heater* adalah dengan melakukan uji laju korosi dan kekuatan pada material *seal* untuk mengetahui *life*

time seal pada konsisi operasi seahingga didapat *schedule* pergantian komponen dan juga melakukan *treatment* pada seal agar lebih tahan korosi, lalu juga menjaga kualitas batu bara.

4.3.2 Analisis Penyebab Penurunan Efisiensi

Menurunnya peforma air heater dengan indikasi nilai efisiensi yang rendah atau tidak sesuai standar yang tidak wajar seperti yang terjadi pada *air heater* unit 6 disebabkan oleh system penyerapan yang terjadi pada *heating element* atau elemen pemanas yang terjadi kerusakan , kerusakan pada *heating element* di cari berdasarkan metode *fault tree analysis* yaitu :



Gambar 5. Analisis penyebab penurunan efisiensi

Penurunan efisiensi diakibatkan oleh tidak efektifnya proses perpindahan panas dari gas buang ke udara pembakaran, ini diakibatkan oleh deposit abu dan juga *profile* pada *heating element* yang dipakai seperti yang dijelaskan pada gambar 5. Deposit abu pada heating element yang terjadi dapat di kurangi dengan melakukan cleaning menggunakan *sootblower air heater*, maka periode penggunaan *sootblower* perlu dipertimbangkan karna jika terlalu sering juga dapat mengakibatkan material yang terkikis oleh uap. Selain itu jenis material juga menentukan terhadap ketahanan dari deposit abu. Melakukan pelapisan pada material akan mengakibatkan ketahanan terhadap deposit meningkat namun daya transfer panas menurun. Perpindahan panas yang terjadi juga ditentukan oleh jenis *profile* pada *heating element*. Maka perlu dilakukan penelitian dan uji coba sebagai referensi penggunaan *design profile* yang mana yang lebih baik dalam proses perpindahan panas pada *air heater*.

Maka parameter pemeliharaan untuk meningkatkan efisiensi adalah melakukan *cleaning* yang tepat untuk membersihkan deposit abu, memilih *design profile* yang tepat dan juga melakukan proses pelapisan pada *heating element* untuk mencegah deposit abu. Namun perlu dipertimbangkan apakah melakukan pelapisan memberikan keuntungan yang lebih, karena dapat menurunkan nilai perpindahan panas yang juga berarti menurunnya efisiensi *air heater*.

IV. KESIMPULAN

1. Perhitungan performa *air heater* yang telah dilakukan dengan metode ASME 4.3 didapat bahwa parameter kebocoran yang terjadi di *primary air heater* memiliki nilai tinggi yang diluar batas standar yang ada yaitu sebesar 20 %, sedangkan efisiensi air heater menunjukkan secara umum *primary* dan *secondary air heater* rata rata berada di bawah standar *design komisioning* yang besarnya 70%. Dari perhitungan yang telah dilakukan maka perlu dilakukan pemeliharaan untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi nilai kebocoran.
2. Nilai kebocoran yang tinggi secara umum disebabkan oleh sistem *seal* yang ada, Kerusakan yang terjadi pada seal terjadi karna korosi dan degradasi pada material seal. Kerusakan ini dapat dicegah atau diminimalisir dengan menjaga kualitas batu bara yang digunakan agar terhindar dari pengikisan material akibat *sulfur* dan memilih jenis material yang cocok pada kondisi kerja pada *air heater*.
3. Nilai efisiensi yang rendah berdasarkan perhitungan ASME 4.3 adanya deposit abu pada elemen pemanas sehingga mengakibatkan berkurangnya panas yang diserap oleh elemen pemanas. Ini dapat diminimalisir dengan penggunaan *sootblower* untuk membersihkan deposit abu. Lalu pemilihan *design profile* juga menjadi penentu dalam efektifnya proses perpindahan panas yang terjadi pada *air heater*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. N. Purwanto, "PENGARUH UNJUK KERJA AIR HEATER TYPE LJUNGSTORM TERHADAP PERUBAHAN BEBAN DI PLTU TANJUNG JATI B UNIT I BERDASARKAN PERHITUNGAN ASME PTC 4.3," *Eksergi*, vol. 9, 2013.
- [2] B. L. Meena and M. Y. Sheikh, "PERFORMANCE ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF AIR PREHEATER IN THERMAL POWER PLANT," 2017.
- [3] G. Shruti, "Performance Evaluation and Optimization of Air Preheater in Thermal Power Plant," *international journal of mechanical engineering and technology(IJMET)*, vol. 5, 2014.
- [4] K. B. Vinod, "CFD Modelling and Simulation of 500MW Bisector Air Preheater and Its Performance," *IRJET*, vol. 3, 2016.
- [5] Y. Pravitasaria, M. B. a. Malino, and M. N. Maraa, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung," *PRISMA FISIKA*, vol. 5, 2017.
- [6] A. Maharaj, W. Schmitz, and R. Naidoo, "A numerical study of air preheater leakage," *Energy*, vol. 92, pp. 87-99, 2015.
- [7] M. S. Rao, "PERFORMANCE EVALUATION AND RECURRING JAMMING PROBLEM ANALYSIS OF AIR PREHEATER IN COAL-FIRED POWER PLANTS," 2015.

**ANALISIS PENGARUH EFEKTIVITAS *BRINE HEATER* TERHADAP PERFORMA
DESALINATION PLANT UNIT 2 PLTGU PRIOK**

Ari Nasanius¹, Aji Wiyastoadi², Paulus Sukusno³, Moch. Syujak⁴

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Kampus Baru UI Depok, 16425, Indonesia

Tel: (62-21)7863530, Fax: (62-21)8763530

arinasanius@gmail.com

ajiwiyast@gmail.com

Abstrak

Brine heater merupakan salah satu komponen utama dalam proses desalinasi air laut yang digunakan untuk memanaskan air laut menggunakan uap jenuh (saturated) dari HP steam header hingga mencapai temperatur tertentu (top brine temperature), di mana temperatur air keluaran brine heater dapat mempengaruhi proses penguapan dan kondensasi pada evaporator. Brine heater merupakan alat penukar panas (heat exchanger) jenis shell and tube dengan tipe aliran parallel flow yang efektivitasnya dapat mempengaruhi performa dari Desalination Plant tersebut. Penelitian ini bertujuan menunjukkan pengaruh efektivitas brine heater terhadap performa Desalination Plant. Metode penelitian yang digunakan ini berupa pengamatan langsung, mencari data dan perhitungan efektivitas brine heater, wawancara dan diskusi dengan pihak – pihak terkait serta menganalisis kemungkinan pengaruh efektivitas brine heater terhadap performa Desalination Plant berdasarkan data. Hasil penelitian menunjukkan pengaruh efektivitas brine heater terhadap performa Desalination Plant cukup signifikan yaitu sebesar 53%, namun terdapat faktor lain yang mempengaruhi performa Desalination Plant yaitu kinerja dari evaporator dan ejector. Nilai efektivitas dan performa Desalination Plant unit 2 menunjukkan penurunan yang diakibatkan oleh penumpukan kerak dan perbedaan beban unit PLTGU

Kata Kunci : *Brine Heater, Efektivitas, dan Desalination Plant*

Abstract

Brine heater is one of the main components in seawater desalination process used to heat seawater using saturated steam from HP steam header to a certain temperature (top brine temperature), in which the output water temperature from the brine heater may affect the evaporation and condensation processes of the evaporator. Brine heater is a heat exchanger type shell and tube with a parallel flow type whose the effectiveness can affect the performance of desalination plant. This study aims to show the effect of brine heater effectiveness on the performance of desalination plant. The Research Methods that used are observation, data research and calculation of brine heater effectiveness, interview and discussion with the related parties and then analyze the possible effect of brine heater effectiveness on the performance of desalination plant based on data. The results showed that the effect of brine heater effectiveness on desalination plant performance is enough significant, in value of 53%, but there were another factors that affected Desalination Plant performance, the factors were the performance of evaporator and ejector. The value effectiveness and performance of Desalination Plant unit 2 show a decrease caused by the crust buildup and the difference load of the PLTGU unit.

Keywords : *Brine Heater, Effectiveness, and Desalination Plant*

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

PT. Indonesia Power Unit Pembangkitan dan Jasa Pembangkitan Priok merupakan perusahaan pembangkit tenaga listrik yang memanfaatkan panas dari gas buang dari PLTG digunakan sebagai pemanas fluida kerja PLTU untuk menghasilkan uap superheated yang dapat digunakan untuk memutar turbin dan kemudian putaran turbin tersebut digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik.

Pada PLTGU Priok, sistem pengolahan air laut merupakan bagian penting untuk menghasilkan kualitas air murni yang baik. Terdapat beberapa komponen utama yang digunakan untuk mengolah air laut menjadi air tawar sebelum diolah lagi menjadi air murni. Salah satu komponen tersebut adalah *brine heater*. Pada PLTGU Priok *brine heater* merupakan alat penukar panas jenis *shell and tube* yang digunakan dalam proses desalinasi air laut pada suatu pembangkit tenaga listrik.

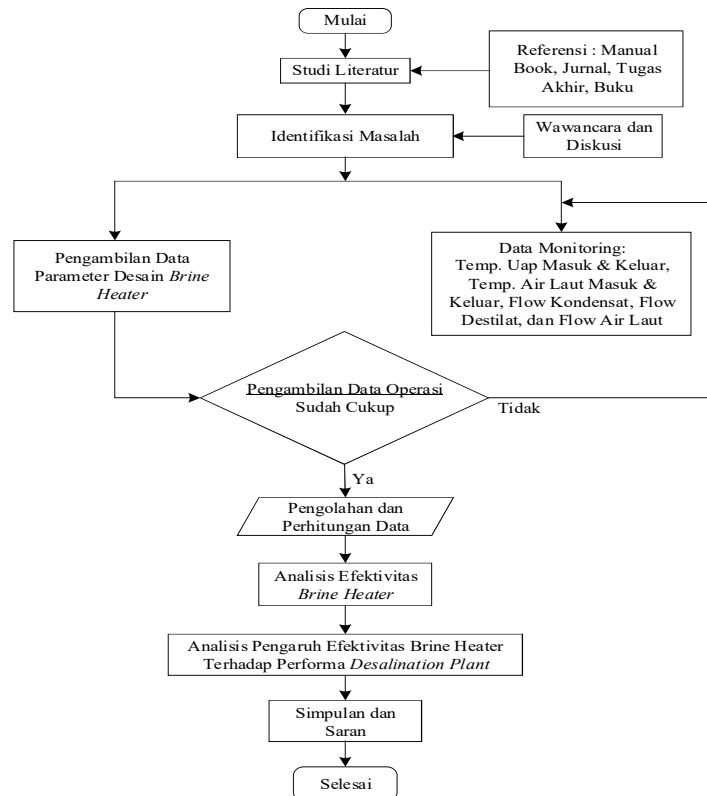
Brine heater berfungsi untuk memanaskan air laut hingga mencapai temperatur tertentu (*top brine temperature*)[1]. *Brine heater* memiliki peran yang cukup penting dalam proses desalinasi air laut

dikarenakan temperatur air keluaran *brine heater* (*top brine temperature*) mempengaruhi proses penguapan dan kondensasi pada evaporator. Baik atau buruknya performa dari *Desalination Plant* dipengaruhi oleh efektivitas dari *brine heater*. Dari permasalahan yang terjadi, maka dilakukan analisa yang bertujuan untuk mengkaji pengaruh efektivitas *brine heater* terhadap performa *Desalination Plant* unit 2 PLTGU Priok agar dapat dilakukan tindakan-tindakan yang efektif dalam meningkatkan performa dari *Desalination Plant* unit 2 itu sendiri.

II. METODE PENELITIAN

Diagram Alir

Metode penelitian merupakan suatu proses yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir untuk memperoleh data yang akurat sehingga mendapatkan hasil yang baik dan efektif. Berikut ini adalah diagram alir metode penelitian :



Gambar.1 Diagram Alir

Pengumpulan Data

Pada penyusunan tugas akhir ini, penulis menggunakan beberapa metode pengambilan data sebagai berikut:

- Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis melakukan pencarian data atau informasi yang relevan dengan menggunakan sumber dari manual book, jurnal tugas akhir dan buku mengenai *brine heater* dan *Desalination Plant*.

- Praktik Kerja Lapangan

Pada tahap ini (saat sedang melakukan Praktik Kerja Lapangan), penulis melakukan wawancara dan diskusi dengan pihak – pihak terkait untuk mendapatkan data atau informasi yang akurat mengenai sistem operasi serta mengidentifikasi masalah – masalah yang sering terjadi di *Desalination Plant* unit 2 PLTGU Priok terutama pada *Brine Heater*.

- Pengambilan Data Desain dan Data Operasi

Pada tahap ini, penulis melakukan pengambilan data desain yang bersumber dari manual book, dan data operasi yang didapat dari data monitoring *Control Room Desalination Plant* PLTGU Priok Blok I dan II. Berikut adalah data yang diambil dari *manual book* dan *control room*:

A. Desalination Plant Unit 2 PLTGU Priok

Tipe proses desalinasi pada *Desalination Plant* unit 2 PLTGU Priok adalah tipe *Multi-Stage Flash Desalination* (MSF) yang menggunakan uap dari HRSG untuk memanaskan air laut (dalam pipa tertutup) yang masuk kedalam *brine heater*. Air laut kemudian disemburkan dalam masing-masing tahapan evaporator yang berjumlah 20 stage yang disusun secara seri.

Uap yang diproduksi dalam masing-masing stage di kondensasi dan di kumpulkan sebagai air destilat, yang mengalir dari *stage* 11 sampai 20, dengan kualitas total padatan terlarut dapat mencapai ($< 85 \text{ mg/mhos/cm}$). Tekanan yang lebih rendah dalam evaporator menyebabkan air laut mendidih dengan segera setelah masuk ke dalam evaporator. Air hasil kondensat dipompa keluar dan dibuang ke laut. [2]

B. Spesifikasi Brine Heater dan Desalination Plant Unit 2 Berdasarkan Data Desain

Spesifikasi *Brine Heater* dan *Desalination Plant* pada PLTGU Priok Blok 1 dan 2 menurut *Manual Book Operation Manual Desalination Plant, Sasakura Engineering (ABB Marubeni)* adalah sebagai berikut [3] :

Tabel. 1 Data Desain Operasi *Brine Heater* dan *Desalination plant* unit 2 PLTGU Priok

	Parameter	Nilai
Brine Heater	Aliran Massa Uap	6940 kg/jam
	Tekanan Suplai Uap	7,5 kg/cm ²
	Temp. Uap Masuk	183 °C
	Temp. Uap Keluar	120 °C
	Temp. Air Laut Masuk	102,4 °C
	Temp. Air Laut Keluar	113 °C
	Perhitungan Efektivitas	78,16%
Desalination Plant	Flow Destilat	41,67 m ³ /jam
	Flow Kondensat	6,8 m ³ /jam
	Flow Air Laut	358 m ³ /jam
	Gain Ouput Ratio (GOR)	6.0

Sumber : ABB Marubeni. 1992. *Operation Manual Desalination Plant*. Sasakura Engineering.

C. Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang dimana terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda, dimana fluida tersebut keduanya mengalir didalam sistem. [5] *Heat exchanger* dapat dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan fungsional dan jenis permukaan perpindahan panasnya. pembagian tipe heat exchanger berdasarkan permukaan perpindahan panasnya dapat diatur dalam beberapa bentuk diantaranya *single tube arrangement*, *shell and tube arrangement*, dan *cross flow heat exchanger*. [6]

D. Data Operasional Brine Heater dan Desalination Plant Unit 2

Data operasional *Brine Heater* dan *Desalination Plant* unit 2 yang didapatkan di *Control Room Desalination Plant* PLTGU Priok Blok I dan II pada tanggal 16 – 30 April 2018 adalah sebagai berikut:

Tabel.2 Data Operasional *Brine Heater* Pukul 08.00 WIB

No.	Tanggal	C _c (kW/°C)	C _h (kW/°C)	T _{c1} Air Laut (°C)	T _{c2} Air Laut (°C)	Th ₁ Uap (°C)	Th ₂ Uap (°C)
1	16/04/18	297,928	9,570	89	105	107,7	97
2	17/04/18	296,812	8,747	90	105	106,5	95
3	18/04/18	222,051	5,271	85,5	98	138,5	94
4	19/04/18	224,283	5,163	84	97	99,2	90
5	20/04/18	226,514	5,108	84	94	147,8	99
6	21/04/18	225,398	8,473	84	97,5	131,3	98
7	22/04/18	222,051	4,437	84	100	125	98
8	23/04/18	220,935	5,323	83	96	130,1	98
9	24/04/18	210,893	5,309	85	99	136,2	98

10	25/04/18	206,429	4,978	83	97	147,1	97
11	26/04/18	212,008	5,037	83	93	124,3	97
12	27/04/18	215,356	3,564	80	93	115,8	95
13	28/04/18	220,935	4,178	80	93	132,9	95
14	29/04/18	220,935	4,433	83	96	127,7	97
15	30/04/18	219,819	4,840	82	95	113	97

Tabel.3 Data Operasional *Desalination Plant* Pukul 08.00 WIB

No.	Tanggal	Flow Destilat (m ³ /jam)	Flow Kondensat (m ³ /jam)	Flow Air Laut (m ³ /jam)
1	16/04/18	29,8	8,56	267
2	17/04/18	29	7,82	266
3	18/04/18	20,2	4,78	199
4	19/04/18	20,5	4,6	201
5	20/04/18	15,2	4,65	203
6	21/04/18	24,3	7,66	202
7	22/04/18	20,9	4	199
8	23/04/18	13,4	4,81	198
9	24/04/18	19,4	4,81	189
10	25/04/18	18,8	4,53	185
11	26/04/18	16,1	4,54	190
12	27/04/18	20,1	3,2	193
13	28/04/18	22,4	3,78	198
14	29/04/18	14,8	4	198
15	30/04/18	17,9	4,34	197

Pengolahan dan Perhitungan Data

Setelah informasi dan data – data operasi terkumpul, maka penulis perlu menyeleksi data – data operasi tersebut agar ketika dalam perhitungan didapatkan hasil yang akurat. Berikut adalah perhitungan yang digunakan :

A. Gain Output Ratio (GOR) *Desalination Plant*

Gain output ratio (GOR) merupakan rasio performa dari *Desalination Plant* dapat dihitung menggunakan rumus [3] :

$$GOR = \frac{W_{dc}}{W_s} \quad \text{[Persamaan.1]}$$

Dimana,

W_{dc} = produksi air destilat (m³/jam)

W_s = konsumsi uap yang masuk ke *brine heater* (m³/jam), data konsumsi uap dapat diperoleh dari flow kondensat *brine heater*.

Standar *gain output ratio* (GOR) menurut *Manual Book Technical Spesification for Desalination plant, Sasakura Engineering (ABB Marubeni)* adalah 6.0 (tidak termasuk *ejector steam*). Transisi harian dari performa rasio harus dimonitor dengan seksama. Jika ada penurunan performa rasio, *anti-scale chemical feed system* dan *ball cleaning system* harus diperiksa operasinya. [3]

B. Perhitungan Laju Perpindahan Panas Aktual (Q_{act})

Laju perpindahan panas aktual merupakan panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut [4] :

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad \text{[Persamaan.2]}$$

atau

$$Q_{act} = C_c \cdot (T_{c1} - T_{c2}) \quad \text{[Persamaan.3]}$$

dimana

Q_{act} = laju perpindahan panas aktual (W)

C_h = laju kapasitas panas fluida panas (W/°C)

C_c = laju kapasitas panas fluida dingin (W/°C)

- T_{h1} = temperatur fluida panas masuk heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{h2} = temperatur fluida panas keluar heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{c1} = temperatur fluida dingin masuk heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{c2} = temperatur fluida dingin keluar heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)

C. Perhitungan Laju Kapasitas Panas

Untuk mempermudah menghitung laju perpindahan panas dibutuhkan laju kapasitas panas yang dapat dihitung dengan persamaan berikut [4] :

$$C_c = \dot{m}_h \cdot C_{p_h} \quad \text{[Persamaan.4]}$$

atau

$$C_h = \dot{m}_c \cdot C_{p_c} \quad \text{[Persamaan.5]}$$

dimana:

- C_h = laju kapasitas panas fluida panas ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)
 C_c = laju kapasitas panas fluida dingin ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)
 \dot{m}_h = laju aliran massa fluida panas (kg/s)
 \dot{m}_c = laju aliran massa fluida dingin (kg/s)
 C_{pc} = spesifik panas/panas jenis fluida dingin ($\text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)
 C_{ph} = spesifik panas/panas jenis fluida panas ($\text{J/kg}\cdot^{\circ}\text{C}$)

Jika $C_c \neq C_h$, maka digunakan C_{min} yang merupakan harga terkecil dari C_c atau C_h . C_{min} digunakan untuk menghitung nilai perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi pada *heat exchanger*.

D. Perhitungan Laju Perpindahan Panas Maksimal (Q_{maks})

Laju perpindahan panas maksimal merupakan nilai perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut [4] :

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{h1} - T_{c1}) \quad \text{[Persamaan.6]}$$

dimana:

- Q_{max} = laju perpindahan panas maksimal (W)
 C_{min} = nilai terkecil di antara nilai C_h dan C_c ($\text{W}/^{\circ}\text{C}$)
 T_{h1} = temperatur fluida panas masuk heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)
 T_{c1} = temperatur fluida dingin masuk heat exchanger ($^{\circ}\text{C}$)

E. Perhitungan Efektivitas (ϵ)

Efektivitas shell and tube dapat dihitung dengan persamaan berikut [4] :

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\% \quad \text{[Persamaan.7]}$$

dimana,

- m = efektivitas *heat exchanger* (%)
 Q_{act} = laju perpindahan panas aktual (W)
 Q_{max} = laju perpindahan maksimal (W)

Analisis dan Pembahasan

Analisis dan pembahasan ini bertujuan untuk memperjelas hasil dari tahapan pengolahan dan perhitungan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

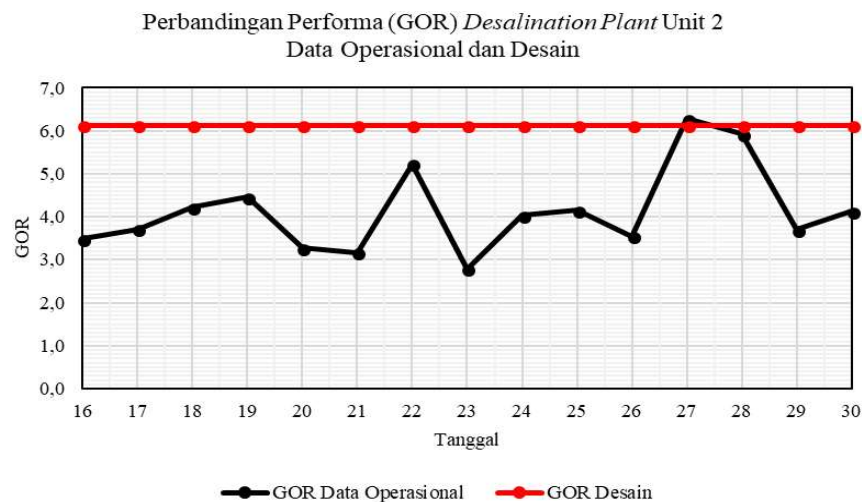
Hasil Analisis Performa *Desalination Plant* Unit 2

Berdasarkan data operasional yang didapatkan di *Control Room Desalination Plant* PLTGU Priok Blok I dan II, dilakukan perhitungan performa pada tanggal 16 – 30 April 2018 setiap pukul 08.00 WIB dengan menggunakan Persamaan.1. Pada Tabel.4 disajikan rincian perhitungan performa *Desalination Plant* unit 2.

Tabel.4 Data Hasil Perhitungan Performa *Desalination Plant* Unit 2

No.	Tanggal	Flow Destilat	Flow Kondensat	GOR
		[m ³ /jam]	[m ³ /jam]	
1	16/04/18	29,8	8,56	3,48
2	17/04/18	29	7,82	3,71
3	18/04/18	20,2	4,78	4,23
4	19/04/18	20,5	4,6	4,46
5	20/04/18	15,2	4,65	3,27
6	21/04/18	24,3	7,66	3,17
7	22/04/18	20,9	4	5,23
8	23/04/18	13,4	4,81	2,79
9	24/04/18	19,4	4,81	4,03
10	25/04/18	18,8	4,53	4,15
11	26/04/18	16,1	4,54	3,55
12	27/04/18	20,1	3,2	6,28
13	28/04/18	22,4	3,78	5,93
14	29/04/18	14,8	4	3,70
15	30/04/18	17,9	4,34	4,12
Rata - rata				4,14

Pada perhitungan performa *Desalination Plant* unit 2, didapatkan bahwa penurunan performa sangat dipengaruhi oleh rendah produksi air destilat dan besarnya produksi air kondensat. Perbedaan flow air destilat dipengaruhi oleh temperatur *top brine* yang dihasilkan. Semakin besar temperatur *top brine* maka semakin besar pula flow air destilat (produksi destilat) yang dihasilkan, akan tetapi tidak berlaku untuk flow air kondensat karena flow air kondensat dipengaruhi oleh besarnya aliran uap yang masuk ke dalam *brine heater*, semakin besar aliran uap yang masuk maka semakin besar aliran air kondensat yang dihasilkan.



Gambar.2 Grafik Perbandingan Performa (GOR) *Desalination plant* Unit 2 Data Operasional dan Desain

Gambar. 2 menunjukkan grafik perbandingan data operasional dan data desain performa (GOR) dari *Desalination plant* unit 2 selama lima belas hari setiap jam 08.00 WIB. Nilai performa cenderung berada dibawah data desain dibandingkan terhadap data diatas desain. Perbedaan data operasi dengan desain mencapai rata-rata 1,86. Data performa *Desalination Plant* unit 2 selama lima belas hari yang berada diatas data desain terdapat pada tanggal 27 April 2018 dimana performa yang dihasilkan adalah 6,28 yang disebabkan oleh flow air destilat (produksi destilat) yang tinggi yaitu 20,1 m³/h dan flow air kondensat yang rendah yaitu 3,2 m³/h. Sementara data performa yang terkecil terdapat pada tanggal 23 April 2018 dimana performa yang dihasilkan adalah 2,79 yang disebabkan rendahnya flow air destilat (produksi destilat) yaitu 13,4 m³/h dan tingginya flow air kondensat yaitu 4,81 m³/h.

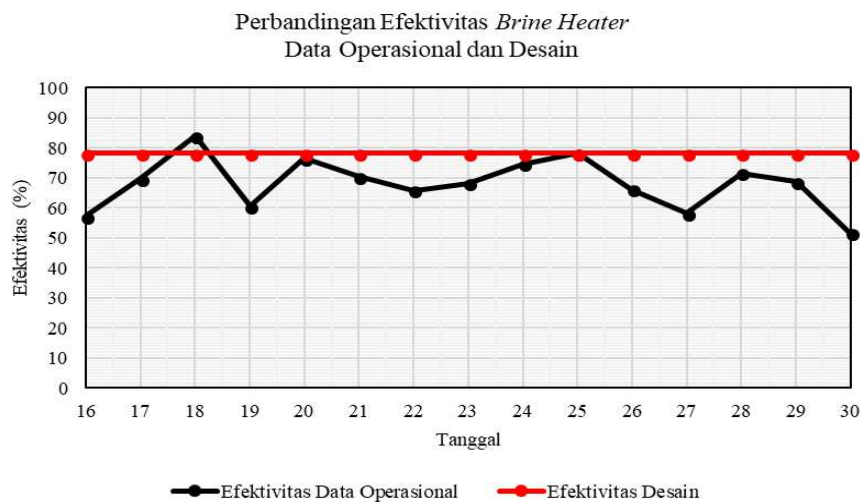
Berdasarkan Gambar. 2 dapat disimpulkan bahwa rata - rata penurunan performa *Desalination Plant* unit 2 dibandingkan data desain selama lima belas hari sebesar 31%. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yang dapat mempengaruhi turunnya performa (GOR) seperti penumpukan kerak dalam instalasi desalinasi MSF [7]. Penumpukan kerak dapat mempengaruhi perbedaan beban yang menyebabkan perbedaan temperatur uap yang masuk ke *brine heater*; temperatur top brine yang dihasilkan; dan keefektifan produksi destilat. Selain itu, kondisi vakum yang buruk akan mempengaruhi proses penguapan atau kondensasi yang terjadi di evaporator sehingga keefektifan produksi destilat terhambat.

Hasil Analisis Efektivitas *Brine Heater* Pada *Desalination Plant* Unit 2

Berdasarkan data operasional yang didapatkan di *Control Room Desalination Plant* PLTGU Priok Blok I dan II, dilakukan perhitungan efektivitas pada tanggal 16 – 30 April 2018 dengan menggunakan Persamaan.2, Persamaan.6, dan Persamaan.7. Pada Tabel.5 disajikan rincian perhitungan efektivitas *Brine Heater* pada *Desalination Plant* unit 2.

Tabel.5 Data Hasil Perhitungan Efektivitas *Desalination plant* unit 2

No.	Tanggal	Qact	Qmaks	Efektivitas
		[kW]	[kW]	[%]
1	16/04/18	102,394	178,951	57,22
2	17/04/18	100,591	144,327	69,70
3	18/04/18	234,562	279,366	83,96
4	19/04/18	47,500	78,478	60,53
5	20/04/18	249,280	325,903	76,49
6	21/04/18	282,146	400,766	70,40
7	22/04/18	119,791	181,905	65,85
8	23/04/18	170,877	250,726	68,15
9	24/04/18	202,818	271,839	74,61
10	25/04/18	249,390	319,080	78,16
11	26/04/18	137,516	208,038	66,10
12	27/04/18	74,133	127,595	58,10
13	28/04/18	158,355	221,029	71,64
14	29/04/18	136,088	198,148	68,68
15	30/04/18	77,440	150,039	51,61
Rata - rata				68,08



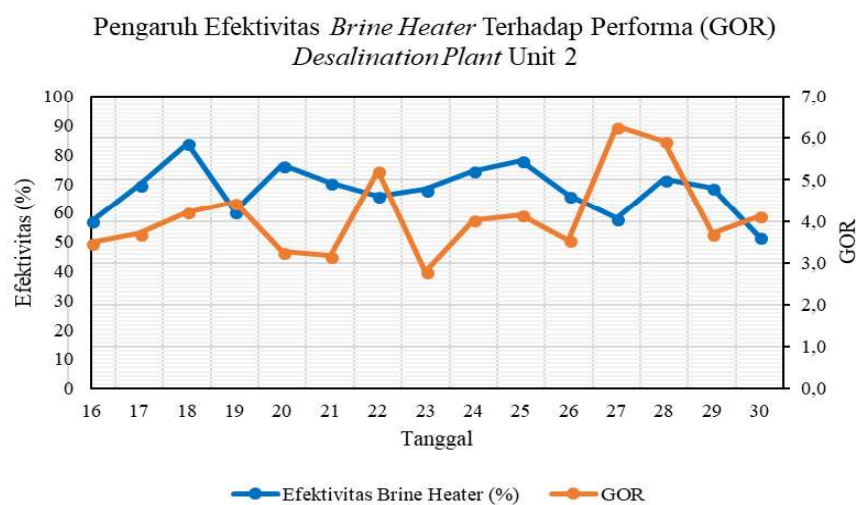
Gambar.3 Grafik Perbandingan Efektivitas *Brine Heater* Data Operasional dan Desain

Pada Gambar. 3 ditunjukkan grafik efektivitas *brine heater* selama lima belas hari setiap jam 08.00 WIB mengalami perubahan efektivitas yang cukup signifikan setiap harinya. Nilai efektivitas memiliki

kecenderungan berada dibawah data desain dengan perbedaan mencapai rata-rata 10-15%. Nilai efektivitas tertinggi terdapat pada tanggal 18 april 2018 dengan nilai 83,96 % sementara nilai efektivitas terendah terdapat pada tanggal 30 april 2018 dengan nilai 51,61 %. Besarnya nilai efektivitas *brine heater* selama lima belas hari dikarenakan jumlah beban yang dihasilkan oleh turbin uap cukup besar sehingga menghasilkan aliran uap dan temperatur yang besar untuk masuk kedalam *brine heater*.

Penurunan efektivitas *brine heater* dipengaruhi oleh perbedaan temperatur uap yang masuk dan keluar di *brine heater*. Semakin besar perbedaan temperatur uap maka semakin besar pula efektivitas yang dihasilkan dan sebaliknya. Penurunan efektivitas disebabkan oleh beberapa hal seperti kondisi pipa / *tube – tube*. Kondisi pipa atau *tube-tube* pada *brine heater* akan mempengaruhi efektivitas *brine heater* itu sendiri. Hal ini dikarenakan, jika terjadi penumpukan kerak pada pipa / *tube – tube* maka akan mengakibatkan tidak maksimalnya perpindahan panas pada *brine heater* sehingga efektivitasnya rendah.

Hasil Analisis Pengaruh Efektivitas *Brine Heater* Terhadap *Desalination Plant* Unit 2



Gambar.4 Grafik Pengaruh Efektivitas Terhadap Performa *Desalination Plant* Unit 2

Pada Gambar. 4 ditunjukkan grafik perbandingan efektivitas *brine heater* terhadap performa (GOR) *Desalination plant* unit 2. Dari hasil grafik di atas, dapat ditunjukkan bahwa tidak selalu kenaikan dan penurunan efektivitas diikuti oleh kenaikan dan penurunan performa (GOR). Hal ini terlihat pada tanggal 19, 20, 22, 23, 27, 28 dan 30 april 2018 dimana nilai efektivitas tidak mempengaruhi performa (GOR). Hal tersebut menunjukkan bahwa efektivitas mempunyai pengaruh terhadap performa (GOR) yang cukup signifikan namun terdapat faktor lain yang mempengaruhi performa *Desalination Plant* unit 2 yaitu kinerja dari *evaporator* dan *ejector*. *Evaporator* ikut berperan dalam proses produksi air destilat. Setelah air laut dipanaskan oleh *brine heater* hingga mencapai temperatur *top brine*, air laut akan mengalami proses penguapan (evaporasi) dan pengembunan (kondensasi) di dalam *evaporator*. Proses evaporasi dan kondensasi ini bergantung pada tekanan yang lebih rendah (keadaan vakum) yang dihasilkan *ejector* dan temperatur *top brine* yang dihasilkan *brine heater*. Oleh karena itu, jika temperatur *top brine* yang besar dan tekanan pada evaporator dalam keadaan vakum yang baik maka proses penguapan pada air laut akan lebih cepat sehingga menghasilkan kualitas air destilat yang diinginkan.

IV. KESIMPULAN

- 1) Efektivitas *brine heater* pada tanggal 16 April 2018 – 30 April 2018 mengalami penurunan dibawah data desain. Rata-rata nilai efektivitas *brine heater* selama lima belas hari adalah 68,08 % dan mengalami penurunan efektivitas sebesar 10% dari data desain.
- 2) Faktor – faktor yang mempengaruhi nilai efektivitas *brine heater* adalah perbedaan temperatur uap masuk dan keluar, adanya kebocoran dan penumpukan kerak pada pipa / *tube-tube*.

- 3) Pengaruh efektivitas *brine heater* terhadap performa (GOR) pada *Desalination Plant* unit 2 cukup signifikan, yaitu sebesar 53%. Hal tersebut karena ada peralatan pendukung lain seperti evaporator dan *ejector* yang juga mempengaruhi performa pada *Desalination Plant*.
- 4) Faktor – faktor yang mempengaruhi penurunan performa (GOR) pada *Desalination Plant* unit 2 adalah penumpukan kerak pada peralatan *Desalination Plant*; lama pemakaian peralatan *Desalination Plant*; temperatur *top brine*; perbedaan beban; dan kondisi vakum yang buruk pada peralatan *Desalination Plant*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bagja, “Class Room and On Site Training: Desalination Plant”, PT. Indonesia Power, UBP Priok, 2006.
- [2] Siti Alimah, “Fenomena Kerak Dalam desalinasi Dengan Multi Stage Flash Distillation (MSF),” Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, vol. 8, 2006.
- [3] ABB Marubeni, “Operation Manual Desalination Plant”, Sasakura Engineering, 1992.
- [4] Cengel, Y.A., “Heat Transfer: A Practical Approach (2nd Ed)”, Ohio: McGraw-Hill Higher Education, Hal 690-691, 2006.
- [5] S. Kakac and H. Liu, Heat Exchanger Selection, Rating, and Thermal Design (2nd Ed), Florida: CRC Press, 2002.
- [6] C.P. Kothandaraman, Fundamentals of Heat and Mass Transfer (3rd Ed), New Delhi: New Age International (P) Ltd, 2006.
- [7] Tatun Hayatun Nufus, Hasan Fuadi and Hari Setiawan, “Analisis Penurunan Performa Desalination Plant Unit B dan C Pada PLTGU Semarang,” *Politeknologi*, vol. 10 No. 3, 2011.

**ANALISIS PENGARUH KUALITAS BATU BARA TERHADAP PERFORMA
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**

Iqbal Dima Naufal¹, Dianta Mustofa Kamal¹, Agus Sukandi¹, Pribadi Mumpuni Adhi¹

¹ *Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*

Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16425, Indonesia

Tel: (62-21) 7863530, Fax: (62-21) 7863530

Email: iqbal.dima@outlook.com

ABSTRAK

Batu bara menyumbang kurang lebih 80% dari total keseluruhan biaya operasional yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) setelah biaya perawatan dan biaya administrasi. Kualitas batu bara harus sesuai dengan desain boiler yang ada, agar performa PLTU dapat dipertahankan pada kondisi yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh komposisi kualitas batu bara terhadap performa pembangkitan yang meliputi ketersediaan (availability), keandalan (reability), efisiensi, dan profit fuel cost saving. Pada penelitian ini dilakukan analisis pencampuran (coal blending) batu bara kualitas rendah (Low Rank Coal) dengan kualitas menengah (Medium Rank Coal) yang didapatkan dari pemasok tambang batu bara yang berbeda. Hasil perhitungan high heating value (HHV) untuk desain boiler adalah sebesar 4440,45 kcal/kg. Tiga sampel, yaitu A, B, dan C, yang didapatkan dari coal blending memiliki nilai HHV berturut-turut sebesar 4437 kcal/kg, 4387,5 kcal/kg, dan 4237,5 kcal/kg. Net plant heat rate yang didapatkan untuk sampel A, B, dan C berturut-turut adalah 2447,3 kcal/kWh, 2504,95 kcal/kWh, dan 2611,16 kcal/kWh. Nilai ketersediaan yang dinyatakan dalam equivalent availability factor (EAF) dan kehandalan yang dinyatakan dalam equivalent force out-rage factor (EFOR). Hasil dari sampel A, B, dan C berturut-turut untuk EAF adalah 95,36%, 85,81%, dan 70,33%, dan untuk EFOR adalah 0,11%, 5,85%, dan 29,67%. Keuntungan pembangkit listrik ditinjau dari fuel saving cost untuk satu unit pembangkit dengan daya mampu netto (DMN) 280 MW, untuk sampel A, B, dan C berturut-turut, adalah 2,46 miliar rupiah, 2,43 miliar rupiah, dan 2,42 miliar rupiah per hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sedikit perbedaan nilai perhitungan HHV antara desain boiler dengan sampel batu bara dapat memengaruhi performa pembangkitan.

Kata Kunci: Kualitas Batu Bara, Performa Pembangkitan, Keuntungan Pembangkit Listrik

ABSTRACT

Coal accounts for approximately 80% of the total operational costs incurred by the steam power plant after maintenance and administration costs. The quality of coal must be compatible with the existing boiler design, therefore the utilization of coal in terms of quality must compatible with the existing boiler design in order to maintain the optimal condition of steam power generation performance. This study aims to analyze the effect of coal quality composition on the generation performance including availability, reliability, efficiency, and profit fuel cost saving. In this study, the low-quality coal and medium-quality coal that obtained from different coal mine suppliers is blended. The calculation result of High heating value (HHV) for boiler design is 4440,45 kcal/kg. Three samples, namely A, B, and C, obtained from coal blending had HHV values of 4437 kcal/kg, 4387.5 kcal/kg, and 4237.5 kcal/kg, respectively. The net plant heat rates obtained from samples A, B, and C are 2447,3 kcal/kWh, 2504,95 kcal/kWh, and 2611,16 kcal/kWh. The value of availability expressed in equivalent availability factor (EAF) and reliability expressed in equivalent force out-rage factor (EFOR). The results showed that EAF for samples A, B, and C were 95,36%, 85,81%, and 70,33%; and for EFOR were 0,11%, 5,85%, and 29,67%, respectively. The profit generated from the fuel saving cost for a unit of 280 MW net capacity (DMN), for samples A, B, and C are 2.46 billion rupiahs, 2.43 billion rupiahs, and 2.42 billion rupiahs per day, respectively. The results of this study indicate that slightly different HHV calculation values between boiler design and coal samples can affect the performance of the generation.

Keywords: Coal Quality, Generation Performance, Power Plant Profits

I. PENDAHULUAN

I.I Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu dari sepuluh negara penghasil batu bara terbesar di seluruh di dunia [1]. Total sumber daya dan cadangan batu bara nasional sebesar 105,2 miliar ton [2]. Sedangkan nilai cadangan sebesar 21,13 miliar ton. Besarnya cadangan batu bara nasional menyebabkan peningkatan produksi batu bara setiap tahunnya. Perkembangan teknologi berlangsung sangat cepat terutama dalam bidang konversi energi. Pemakaian konsumsi global energy saat ini lebih terpusatkan dalam non-renewable energy. Dilansir dari Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), penggunaan konsumsi energi fosil dunia yaitu batu bara sebesar 78,4% yang merupakan persentase terbanyak dibandingkan dengan energi nuklir sebesar 2,3% dan renewable energi sebesar 19,3%. Saat ini batu bara merupakan bahan bakar utama dalam industri pembangkitan terutama pada pembangkit listrik tenaga uap. Total listrik yang dihasilkan secara global adalah 23.322 TWh pada tahun 2013 di mana 41,3% dihasilkan dari batu bara. Oleh karena itu penggantian batu bara tidak mungkin dilakukan dalam waktu dekat meskipun batu bara mempunyai kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca/*greenhouse gas* (GHG) yang paling banyak. Selama masa transisi dari fosil ke energi terbarukan, penggunaan kualitas batu bara dengan cara yang lebih efektif merupakan pilihan yang paling tepat [3]. Suatu desain boiler dirancang oleh manufaktur industri mengikuti kualitas spesifikasi batu bara geografis di daerah tersebut [4]. Pada unit pembangkit menggunakan desain boiler untuk kualitas batu bara rendah atau *low rank coal* (LRC) dan batu bara menengah atau *medium rank coal* (MRC), oleh karena itu untuk mendapatkan nilai pembakaran atau *high heating value* (HHV) yang optimal maka dilakukan pencampuran antara dua kualitas batu bara (*coal blending*) [5]. Suatu nilai pembakaran (HHV) dikatakan optimal dan efektif apabila sesuai atau mendekati nilai dari spesifikasi desain boiler [6]. Dampak ketika pembakaran yang optimal dilakukan, maka kesiapan atau *Equivalent Availability Factor* (EAF) dan gangguan kinerja atau *Equivalent Force Outage Rate* (EFOR) operasi pembangkit dapat diminimalisir [7]. Dari sisi ekonomis, pembakaran yang optimal dapat menghemat pengeluaran untuk pemakaian bahan bakar dan meningkatkan keuntungan pembangkitan ditinjau dari *fuel saving cost* [8].

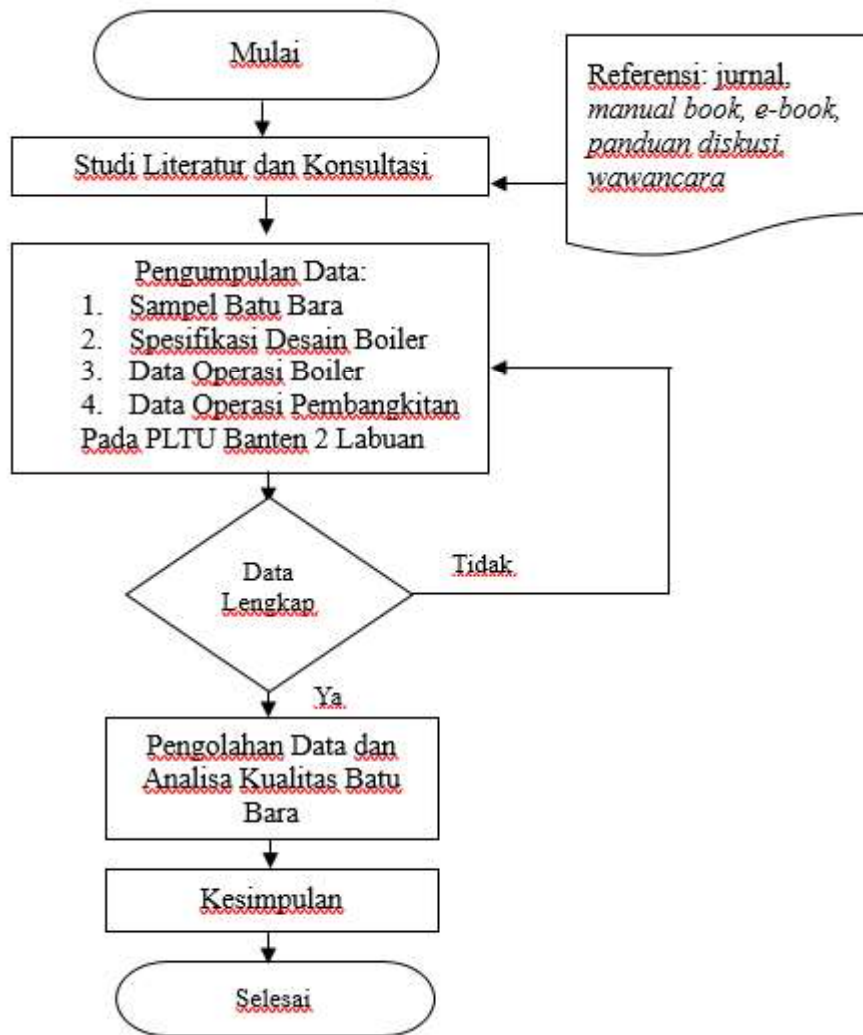
I.II Tujuan

1. Menilai kualitas sampel HHV batubara hasil *coal blending* terhadap efisiensi boiler
2. Menganalisa nilai dari sampel HHV batubara hasil *coal blending* terhadap nilai *net plant heat rate* (NPHR) pembangkitan.
3. Menganalisa pengaruh besarnya HHV sampel batubara hasil *coal blending* terhadap faktor operasi yakni kesiapan dan gangguan pada pembangkitan.
4. Mengalisa pengaruh besarnya HHV sampel batu bara terhadap efisiensi thermal pembangkitan dan dampak kerugian akibat penurunan efisiensi thermal dari sisi ekonomis.
5. Menganalisa keuntungan yang didapatkan, ditinjau dari sisi ekonomis pengeluaran untuk pemakaian bahan bakar (*fuel saving cost*)

II. METODE PENELITIAN

Analisis perhitungan teknis maupun ekonomis terkait dengan kelayakan performa pembangkit dilakukan pada penelitian ini. Untuk melakukan analisis teknis dilakukan analisis terhadap sampling batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik.

Analisis data untuk perhitungan spesifikasi batu bara pada 1 unit pembangkit dilakukan pada saat kondisi pembangkit 100% beban. Identifikasi mengenai apa saja pengaruh signifikan yang dimiliki oleh batu bara dengan kualitas berbeda terhadap performa suatu pembangkitan dilakukan dengan menggunakan data sampling batu bara. Parameter-parameter yang dipakai untuk menentukan performa pembangkit meliputi: ketersediaan (*availability*), keandalan (*reliability*), efisiensi, *revenue*, dan profit *fuel saving cost*.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

II.1 Perhitungan High Heating Value Boiler

High heating value (HHV) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan perbandingan antara kualitas desain boiler dengan kualitas batu bara. *Low heating value* (LHV) adalah basis data yang digunakan pada desain boiler yang tercantum dalam dokumen manufaktur perusahaan. Perbedaan antara HHV dan LHV terletak pada kandungan *moisture* hidrogen terikat yang berubah menjadi senyawa H₂O/kalor laten pada proses pembakaran batu bara. Nilai konversi LHV menjadi HHV dihitung dengan menggunakan persamaan Dulong:

$$\text{HHV [kcal/kg]} = [33.950 C_c + 144.200 \left(\frac{C_{H_2} - C_{O_2}}{8} \right) + 9400 C_s] \times 0,23 \quad [\text{Persamaan. 1}]$$

Dimana

C_c	= Kadar Carbon [%],
C_{H_2}	= Kadar Hidrogen [%],
C_{O_2}	= Kadar Oksigen [%],
C_s	= Kadar Sulfur [%].

II.2 Perhitungan Efisiensi Boiler

Pada kasus ini, perhitungan efisiensi boiler dilakukan dengan menggunakan metode tidak langsung yaitu dengan perhitungan terhadap kerugian-kerugian panas (*Heat Loss*) yang dikeluarkan oleh *boiler*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *data boiler efficiency* unit pembangkit yang diperoleh dari *control room*. Metode perhitungan tidak langsung digunakan karena metode ini mempunyai perhitungan yang lebih

mewakilkkan keadaan dari boiler yang sebenarnya. Perhitungan efisiensi boiler menggunakan acuan ASME Standard: PTC 4-1 Performance Test Code for Steam Generating Unit:

Beberapa parameter perlu didapatkan sebelum perhitungan keseluruhan kehilangan panas dapat dihitung. Tahap pertama adalah dengan menghitung kebutuhan udara teoretis (KUT) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KUT \text{ [kg/kg bahan bakar]} = \frac{[(11,6 \times C_c) + \{34,8 \times (\frac{C_{H_2} - C_{O_2}}{8})\} + (4,35 \times C_S)]}{100} \quad \text{[Persamaan. 2]}$$

Tahap kedua adalah menghitung kelebihan udara yang dipasok atau *Excess of Air (EA)* yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$EA \text{ [%]} = \frac{\text{excess } O_2}{21 - \text{excess } O_2} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 3]}$$

Tahap ketiga adalah menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok atau *Actual Mass of Air Supplied (AAS)*. Nilai EA dan KUT didapatkan menggunakan persamaan (2) dan (3) berturut-turut, sehingga didapatkan:

$$AAS \text{ [kg/kg bahan bakar]} = \left(\frac{1 + EA}{100}\right) \times KUT \quad \text{[Persamaan. 4]}$$

Tahap keempat adalah menghitung massa udara gas buang kering atau *Mass Dry (m_{dry})* yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_{dry} = M_{C_{CO_2}} + M_{C_{N_2} \text{ bahan bakar}} + M_{C_{N_2} \text{ pembakaran udara}} + M_{C_{O_2} \text{ gas buang}} \quad \text{[Persamaan. 5]}$$

Total kehilangan panas dapat dihitung dengan menjumlahkan kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering L_1 , persentase H_2 dalam bahan bakar L_2 , penguapan kadar air dalam bahan bakar L_3 , kadar air pada udara L_4 , radiasi L_5 , fly ash L_6 , dan bottom ash L_7 .

Persentase kehilangan panas L_1 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_1 \text{ [%]} = \frac{m_{dry} \cdot C_p \cdot (T_f - T_a)}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 6]}$$

Dimana C_p = kalor jenis gas buang
 m_{dry} = massa gas buang kering
 T_f = flue temperature
 T_a = ambient temperature

Persentase kehilangan panas L_2 didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_2 \text{ [%]} = \frac{9 \times C_{H_2} (584 + C_p(T_f - T_a))}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 7]}$$

dimana C_{H_2} adalah persentase H_2 dalam 1 kg bahan bakar. Persentase kehilangan panas L_3 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_3 \text{ [%]} = \frac{M(584 + C_p(T_f - T_a))}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 8]}$$

dimana M adalah persentase kadar air dalam 1 kg bahan bakar. Selanjutnya, persentase kehilangan panas L_4 didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_4 [\%] = \frac{AAS \times kelembapan \times Cp (Tf - Ta)}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 9]}$$

Persentase kehilangan panas L_5 didapatkan dari referensi *Losses from ASME Standard: PTC 4-1 Power Test Code for Steam Generating Units*. Besar nilai L_5 adalah 0,25%. Persen kehilangan L_6 dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_6 [\%] = \frac{\text{Total Ash} \times \text{HHV of fly ash}}{\text{HHV of fuel}} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 10]}$$

Terakhir adalah persentase kehilangan panas L_7 didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_7 [\%] = \frac{\text{Total Ash} \times \text{HHV of bottom ash}}{\text{HHV of fuel}} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 11]}$$

Efisiensi boiler η_{boiler} dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan.6 sampai 11 yang dirumuskan menjadi:

$$\eta_{\text{boiler}} [\%] = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7) \quad \text{[Persamaan. 12]}$$

II.3 Perhitungan Net Plant Heat Rate

Net Plant heat rate (NPHR) digunakan untuk memberikan gambaran tentang seberapa besar efisiensi dari suatu pembangkit secara keseluruhan. Perhitungan NPHR menggunakan acuan *ASME PTC PM 1993* yang dapat dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$\text{Net Plant Heat rate} = \frac{\text{Jumlah Bahan Bakar} \times \text{HHV}}{\text{Generator Output-Pemakaian Sendiri (PS)}} \quad \text{[Persamaan. 13]}$$

II.4 Perhitungan Equivalent Availability Factor (EAF) dan Equivalent Force Outage Rate (EFOR)

Faktor ketersediaan dihitung menggunakan EAF dan faktor kehandalan pembangkit yang diakibatkan oleh penggunaan kualitas batu bara dihitung menggunakan EFOR. Faktor ketersediaan merupakan faktor kesiapan unit pembangkit untuk beroperasi (baik dalam kondisi *stand by* maupun operasi). Faktor kehandalan yaitu mengukur tingkat gangguan atau ketidaksiapan unit yang disebabkan oleh gangguan peralatan (*outage*) dan derating. Perhitungan EAF dan EFOR dapat dirumuskan dengan Persamaan.14 dan 15 berikut:

$$\text{EAF} [\%] = \frac{\text{AH} - (\text{EFDH} + \text{EMDH} + \text{EPDH} + \text{ESEDH})}{\text{PH}} \times 100\% \quad \text{[Persamaan. 14]}$$

Dimana, AH = Available Hours,
EFDH = Equivalent Forced Derating Hours,
EPDH = Equivalent Planned Derating Hours,
EMDH = Equivalent Maintenance Derating Hours,
ESEDH = Equivalent Seasonal Derated Hours,
PH = Period Hours.

$$\text{EFOR} [\%] = \frac{\text{FOH} + \text{EFDH}}{\text{FOH} + \text{SH} + \text{Synchr. Hrs} + \text{EFDHRS}} \times 100\% \quad \text{[Persamaan. 15]}$$

Dimana, FOH = Forced Outage Hours,
SH = Service Hours,
EFDHRS = Equivalent Forced Derating Hours During Reserve Shutdown.

Nilai-nilai dari AH, EFDH, EPDH, EMDH, ESEDH, PH, FOH, SH, EFDHRS didapatkan dari data kinerja operasi PLTU Labuan 2 Banten.

II.5 Perhitungan Potensi Penghematan Bahan Bakar / Kerugian Akibat Perubahan dalam Efisiensi

Perhitungan performa efisiensi termal dilakukan dengan menggunakan sampel batu bara yang telah dicampur dan didapatkan HHV-nya. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan efisiensi ideal pembangkitan sehingga didapatkan selisih biaya bahan bakar yang seharusnya dapat dihemat dikarenakan penurunan efisiensi termal akibat menggunakan sampel bahan bakar tersebut. Potensi penghematan bahan bakar dapat dirumuskan dengan persamaan berikut

$$S = W \times \left(\frac{E_i - E_n}{E_i} \right) \times C_f \times t \quad \text{[Persamaan. 16]}$$

Dimana, S = Kerugian akibat perubahan efisiensi [Rp],
 W_f = Tingkat Penggunaan Bahan Bakar [kcal/h],
 E_i = Efisiensi Ideal [%],
 E_n = Efisiensi Aktual [%],
 C_f = Biaya bahan bakar per kilo kalori [Rp/kcal],
 t = Jam Operasi [h],

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Hasil High Heating Value (HHV) Desain Boiler

Pada desain boiler Dongfang, nilai yang diketahui dari referensi adalah nilai Low Heating Value (LHV). Sedangkan untuk perhitungan desain boiler dan sampel batu bara diperlukan nilai HHV. Sehingga perlu dilakukan konversi nilai LHV menjadi HHV menggunakan rumus Dulong pada Persamaan.1. Hasil dari konversi LHV menjadi HHV disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Perhitungan Konversi LHV menjadi HHV Desain Boiler

Parameter	Nilai
Carbon (C) [%]	46
Hidrogen (H ₂) [%]	3,77
Oksigen [%]	13,9
Sulfur [%]	0,33
LHV [kcal/kg]	4122,84
HHV [kcal/kg]	4440,45

Koefisien HHV yang didapatkan dalam perhitungan desain boiler digunakan untuk perbandingan dengan sampel batu bara yang dicampur. Perbandingan yang dilakukan melibatkan seluruh parameter yang telah tertera pada desain. Data parameter HHV dibutuhkan untuk mengetahui nilai maksimum pembakaran optimal yang dapat dilakukan oleh suatu desain boiler.

III.2 Hasil Coal Blending

Pemenuhan nilai HHV desain boiler dilakukan dengan pencampuran antara kedua batu bara dengan grade yang berbeda (*Coal blending*). Setiap tipe batu bara yang dicampur harus memenuhi persyaratan

kualitas/spesifikasi batu bara untuk unit pembangkit listrik tenaga uap. Coal blending antara batu bara kualitas rendah (*Low Rank Coal*) dengan kualitas medium (*Medium Rank Coal*) dilakukan di dalam unit pembangkit. Tabel 2 memuat klasifikasi batu bara dan coal blending yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 2 Klasifikasi Medium Rank Coal dan Low Rank Coal dari Tambang Berbeda

<i>Medium Rank Coal (MRC)</i>	<i>Low Rank Coal (LRC)</i>
PT. Bukit Asam (PT. BA)	PT. Energy Eksploitasi Indonesia (PT. EEI)
	PT. PLN BB
	PT. Hanson Energy (PT. HE)
PT. Titan Infra Energy (PT. TIE)	PT. Energy Eksploitasi Indonesia (PT. EEI)
	PT. PLN BB
	PT. Hanson Energy (PT. HE)

Dari blending yang dilakukan pada Tabel 2 didapatkan enam sampel batu bara. Pada penelitian ini diambil tiga sampel batu bara yang telah ditentukan berdasarkan HHV. Perbandingan kualitas batu bara hasil *blending* terhadap desain boiler disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Perbandingan Kualitas Hasil Coal Blending Terhadap Desain Boiler

<i>Coal Blending</i>	Sampel Tipe	Persentase <i>Blending</i>	Kualitas Hasil <i>Blending</i>						
			TM [%]	Ash [%]	VM [%]	FC [%]	C _s [%]	HGI [%]	HHV [kcal/kg]
PT. BA-PT. EEI	A	50 [%]	32,53	4,1	33,44	29,92	0,25	58	4437
PT. BA – HE	B		34,66	3,535	32,73	29,075	0,215	58	4387,5
PT. TIE-PT. HE	C		36,20	3,6	32,89	27,22	0,19	58,5	4237,5
Desain			35	6	60	60	0,35	>50	4440,45

Dimana, Total Moisture (TM) = Kadar Total Moisture
 Abu (Ash) = Kadar Abu
 Volatile Matter (VM) = Kadar Zat Terbang
 C_s = Kadar Sulfur
 Hardgrove Grindability Index (HGI) = Nilai tingkat kemudahan batu bara untuk digerus

Blending di Unit Pembangkit dilakukan pada *furnace/boiler* itu sendiri yang dibedakan pada bunker batu bara. Untuk batu bara LRC terdapat pada bunker 1 dan 2, sedangkan untuk batu bara MRC terdapat pada bunker 3 dan 4, oleh karena itu persentase *blending* diasumsikan adalah 50%. Ketiga sampel yang terpilih untuk perbandingan dengan desain boiler dipilih berdasarkan kriteria:

1. HHV *coal blending* batu bara terdekat dari HHV desain,
2. HHV *coal blending* menengah dari HHV desain,
3. HHV *coal blending* terjauh dari HHV desain.

III.3 Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler pada Unit Pembangkit

Perhitungan efisiensi boiler dihitung menggunakan metode tidak langsung yang dilakukan pada sampel yang telah ditentukan sesuai pada tabel 3. Perhitungan ini menggunakan data desain spesifikasi dokumen manufaktur dan data analisis laboratorium perusahaan surveyor Indonesia terkait sampel batu bara yang digunakan.

Tabel 4 Data Sampel Coal Blending yang dibutuhkan untuk Efisiensi Boiler

	Satuan	A	B	C
Fuel Analysis (in %) [8]				
Ash Content in Fuel	[%]	4,1	3,535	3,68
Moisture in Coal	[%]	32,53	34,66	36,2
Carbon Content	[%]	50,45	47,85	46,26
Hydrogen Content	[%]	4,41	4,145	3,96
Nitrogen Content	[%]	0,83	0,77	0,63
Oxygen Content	[%]	7,42	8,825	9,07
HHV of Coal	[kcal/kg]	4437	4387,5	4237,5
Sulfur Content	[%]	0,25	0,215	0,19
Excess Oxygen	[%]	2,43	2,43	2,43
Data yang dihasilkan				
%CO ₂ in Flue gas	[%]	17,6	18,0	18,2
Average flue gas Temperature	[° C]	161,36	159,27	155,98
Ambient Temperature	[° C]	30	30	30
Humidity in ambient air	[kg/kg dry air]	0,01	0,015	0,02
% of Bottom Ash	[%]	1,61	5,43	7,25
% of Fly Ash	[%]	1,72	1,695	1,47
Ratio of Bottom Ash and Fly Ash		90:10	90:10	90:10

Perhitungan ini menggunakan acuan ASME Standard: PTC 4-1 Performance Test Code for Steam Generating Unit, sesuai pada Persamaan. 2 sampai Persamaan 12. Hasil perhitungan efisiensi boiler pada ketiga sampel *coal blending* adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Data Perhitungan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

	A	B	C	Comissioning [%]
	[%]	[%]	[%]	
Kehilangan panas akibat gas buang kering (L_1)	1,2	1,73	1,76	
kehilangan panas akibat H₂ dalam bahan bakar (L_2)	3,84	4,2	5,03	
kehilangan panas akibat <i>moisture</i> dalam bahan bakar (L_3)	4,36	4,14	4,09	
kehilangan panas akibat <i>moisture</i> dalam udara (L_4)	0,01	0,016	0,017	
kehilangan panas akibat radiasi (L_5)	0,19	0,20	0,206	
kehilangan panas akibat fly ash (L_6)	0,024	0,03	0,03	
kehilangan panas akibat bottom ash (L_7)	0,25	0,31	0,37	
Total Kehilangan Panas	10,14	10,62	11,50	
Efisiensi Boiler	89,85	89,37	88,49	93,74

III.5 Hasil Perhitungan Net Plant Heat Rate (NPHR)

Pada perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara HHV sampel coal blending terhadap nilai dari *heat rate* unit pembangkitan. Nilai NPHR dihitung sesuai dengan Persamaan.13 dengan hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 6. Nilai dari jumlah bahan bakar, generator output, dan pemakaian sendiri didapatkan data kinerja operasi PLTU Labuan 2 Banten.

Tabel 6 Data Perhitungan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

	A	B	C
High Heating Value [kcal/kg]	4437	4387,5	4237,5
Jumlah Bahan Bakar [MT]	3.732	3.800	4.025
Generator Output [kWh]	7.086	7.009	6.933
Pemakaian Sendiri [kWh]	321,12	354	400,53
NPHR [kcal/kWh]	2447,3	2504,958	2611,168

III.5 Hasil Perhitungan EAF dan EFOR

Pada analisis ini dilakukan perhitungan hubungan antara kesiapan dan gangguan yang terjadi pada unit pembangkit terhadap kualitas HHV *coal blending* yang ditentukan sesuai dengan tabel 3. Nilai faktor kesiapan (EAF) akan berbanding terbalik dengan gangguan (EFOR). Hasil perhitungan diperoleh menggunakan Persamaan.14 dan 15 adalah sebagai berikut:

Tabel 7 Hasil Perhitungan EAF dan EFOR

	A	B	C
Available Hours [h]	672	682.05	529,28
Equivalent Forced Derating Hours [h]	0,03	5,99	2,84
Equivalent Maintenance Derating Hours [h]	30,45	3,73	0
Period Hours [h]	672	744	744
Forced Outage Hours, [h]	0	0	214,72
Service Hours, [h]	672	682,05	529,28
EAF [%]	95,36	85,81	70,33
EFOR [%]	0,11	5,85	29,67

III.5 Keuntungan Pembangkit Ditinjau dari Fuel Saving Cost

Pada perhitungan keuntungan pembangkitan, untuk mendapatkan keuntungan ditinjau dari penggunaan bahan bakar yang digunakan sesuai dengan sampel *coal blending* ditentukan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan keuntungan kotor yang didapat dengan harga acuan *Power Purchase Agreement* (PPA) Perusahaan Listrik Negara oleh satu unit pembangkitan:

Tabel 8 Hasil Perhitungan revenue pembangkit dalam satu hari

Kapasitas Pembangkit (satu unit)	300 MW
Daya Mampu Netto (DMN)	280 MW
Harga per kWh listrik	Rp. 778,69
Keuntungan dalam satu hari (revenue)	Rp. 5.232.796.800,00

Dari perhitungan pada Tabel 7 dilakukan perhitungan potensi penghematan bahan bakar menggunakan sampel *coal blending* HHV batu bara. Hasil perhitungan diperoleh menggunakan Persamaan.16 dan dirangkum dalam Tabel 8 dengan harga berdasarkan Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara (Dirjen Minerba) tahun 2017:

Tabel 9 Hasil Perhitungan Kerugian akibat Perubahan Efisiensi

High Heating Value [kcal/kg]	4437	4387,5	4237,5
Tingkat Penggunaan Bahan Bakar, [kcal/h]	240.800.000		
Efisiensi Ideal [%] [9]	39		
Efisiensi Aktual [%]	36,72	35,44	34,88
Biaya bahan bakar per kilo kalori [Rp/kcal.]	0,148121704	0,147695726	0,148714952
Jam Operasi [h]	24		
Kerugian akibat Perubahan Efisiensi [Rp]	49.978.531,67	77.778.011,25	90.705.126,73

Dari perhitungan tersebut didapatkan total keuntungan bersih (profit) ditinjau dari *fuel saving cost* yang didapatkan oleh pembangkitan:

Tabel 10. Hasil Perhitungan keuntungan ditinjau dari biaya bahan bakar

Total konsumsi batu bara perhari [kg]	4.137.600		
Biaya Batu Bara Ideal Perhari [Rp]	2.719.296.921,6		
High Heating Value [kcal/kg]	4437	4387,5	4237,5
Kerugian akibat Perubahan Efisiensi [Rp]	49.978.531,67	77.778.011,25	90.705.126,73
Total Biaya [Rp]	2.769.275.453	2.797.074.933	2.810.002.048
Keuntungan dari fuel saving cost [Rp]	2.463.521.347	2.435.721.867	2.422.794.752

IV. KESIMPULAN

1. Didapatkan HHV batu bara desain boiler sebesar 4440,45 kcal/kg. Dari ketiga sampel batu bara hasil blending A, B, dan C didapatkan HHV sebesar 4237,5 kcal/kg, 4387,5 kcal/kg dan 4437 kcal/kg. Efisiensi boiler mempunyai nilai yang signifikan menaik seiring dengan besarnya kualitas HHV batu bara yang mendekati desain yang digunakan. Hasil perhitungan efisiensi boiler untuk sampel A, B, dan C berturut-turut sebesar 84,46%, 84,66%, dan 84,68%.
2. Nilai *net plant heat rate* memiliki nilai menurun seiring dengan besarnya kualitas HHV batu bara yang mendekati desain. Artinya semakin *heat rate* menurun maka semakin baik dalam prosesnya. Dari ketiga sampel HHV batu bara yang dianalisis yakni A, B, dan C didapatkan nilai *net plant heat rate* berturut-turut sebesar 2447,3 kcal/kWh, 2504,95 kcal/kWh, dan 2611,16 kcal/kWh.
3. Nilai EAF dan EFOR memiliki kondisi yang signifikan membaik seiring dengan besarnya kualitas HHV batu bara yang mendekati desain. Nilai EAF dan EFOR berbanding terbalik, semakin tinggi EAF maka semakin baik kesiapan pembangkitan dan semakin rendah nilai EFOR maka semakin kecil gangguan pada pembangkitan. Dari ketiga sampel batu bara A, B, dan C didapatkan nilai EAF berturut-turut sebesar 95,46%, 90,36%, dan 70,75%, dan didapatkan nilai EFOR berturut-turut sebesar 1,80%, 16,7%, 29,24%.
4. Semakin besar nilai HHV mendekati nilai dari desain boiler maka efisiensi termal signifikan menaik dan nilai kerugian biaya akibat perubahan efisiensi termal pembangkit memiliki kondisi yang signifikan membaik. Dari ketiga sampel HHV batu bara A, B, dan C didapatkan nilai efisiensi termal berturut-turut sebesar 36,85 %, 36,10 % dan 34,90%. Nilai kerugian akibat penurunan efisiensi berturut-turut sebesar Rp 48.384.224, Rp 63.209.612,39, dan Rp 90.304.206,95.
5. Nilai keuntungan ditinjau dari biaya bahan bakar memiliki nilai yang signifikan menaik seiring dengan besarnya kualitas HHV sampel batu bara yang digunakan. Dari ketiga sampel batu bara A, B, dan C didapatkan nilai keuntungan berturut-turut sebesar Rp 2.463.521.347, Rp 2.450.290.266, dan Rp. 2.422.794.752

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sasongko, Dwiwahju, "Tantangan Pengembangan Teknologi Pemrosesan Batubara Ramah Lingkungan di Indonesia (Clean Coal Technology), Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 10 Maret 2018
- [2] Noviardi, Rhazista, "Limbah Batubara Sebagai Pembenh Tanah dan Sumber Nutrisi :Studi Kasus Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus Annus*)," *Ris.Geo.Tam* Vol 25, No.1, pp 81-72, Juni 2013
- [3] Majoumerd, M. M., Raas, H., Jana, K., "Coal Quality Effect on the Performance of an IGCC Power Plant with CO₂ Capture in India," *13th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Lausanne, Switzerland, 18 November 2016.
- [4] Joskow, Paul L. "Vertical integration and long-term contracts: The case of coal-burning electric generating plants." *Journal of Law, Economics, & Organization* 1.1 (1985): 33-80.
- [5] Gil, M. V., Casal, D., Pevida, C., Pis, J. J., & Rubiera, F. (2010). Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion. *Bioresource Technology*, 101(14), 5601-5608.
- [6] F. Andiek T., Hardianto, T., Suwono, A. (2011) Pengaruh Penggunaan Batu Bara Nilai Kalor Rendah (Low Rank Coal) Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Suralaya Unit 3, Master Theses, Institut Teknologi Bandung, Indonesia
- [7] Sullivan, G., Pugh, R., Melendez, A. P., & Hunt, W. D. (2010). *Operations & Maintenance Best Practices-A Guide to Achieving Operational Efficiency (Release 3)* (No. PNNL-19634). Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).
- [8] Urgusal, V. I; Taweel, A.M, "Impact of Coal Quality on the Cost of Electrical Power Generation: A Technoeconomic Model," *International Journal of Energy Research*, Vol. 14, pp 683 - 699, 16 February 1990
- [9] Takaishi, T., Numata, A., Nakano, R, Sakaguchi, K. "Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines" *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. 45 (1), 2 April 2011

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR AIR LAUT TERHADAP EFEKTIVITAS PERPINDAHAN PANAS CONDENSER

Yusuf Septiawan Angandrowa Bate'e¹, Jusafwar¹, Adi Syuriadi¹
¹ Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta
Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16425, Indonesia
Tel: (62-21) 7863530, Fax: (62-21) 7863530
Email: septiawanyusuf96@gmail.com

Abstrak

Perubahan iklim global sebagai implikasi dari pemanasan global menyebabkan banyak perubahan fisika yang terjadi dipermukaan laut, salah satunya yaitu temperatur air laut yang terus meningkat. Condenser merupakan bagian utama dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap atau merubah fasa uap setelah proses ekspansi turbin uap menjadi fasa cair dengan mentransfer panas dari uap ke dalam media air pendingin yaitu air laut. Secara teoritis temperatur air laut yang mengalir pada sistem sirkulasi air pendingin memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses perpindahan panas di dalam condenser. Meningkatnya temperatur air laut akan berdampak pada penurunan efektivitas perpindahan panas yang terjadi di condenser sehingga, dibutuhkan laju aliran air pendingin yang sesuai untuk mengembalikan nilai efektivitas perpindahan panas di dalam condenser. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa perhitungan efektivitas yang terjadi antara perpindahan panas berdasarkan target desain yang diinginkan pabrikan dengan aktual perpindahan panas maksimum yang mungkin dicapai condenser. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan berbagai macam kalkulasi yaitu kalkulasi terhadap koefisien konveksi fluida pendingin dengan menggunakan metode korelasi pindah panas Dittus-Boelter (konveksi paksa), kalkulasi terhadap koefisien konveksi fluida panas dengan metode Log Mean Temperature Difference (LMTD), dan kalkulasi terhadap efektivitas heat exchanger dengan metode effectiveness – Number of Thermal Unit. Hasil perhitungan dan perbandingan nilai efektivitas perpindahan panas aktual dengan target desain awal condenser di PLTGU Grati blok 1 menunjukkan adanya penurunan nilai efektivitas perpindahan panas dari 78,15 [%] menjadi 70,76 [%] yang terjadi akibat meningkatnya temperatur air laut. Oleh karena itu, untuk menjaga nilai efektivitas perpindahan panas agar tidak mengalami penurunan maka dilakukan pengaturan besar bukaan valve outlet condenser yang sesuai untuk mempercepat laju aliran air pendingin.pada masing-masing LMTD dengan presentase bukaan outlet valve antara 46 [%] hingga 55 [%] sehingga pelepasan panas dalam pipa pendingin condenser terjadi lebih cepat

Kata Kunci: Condenser, efektivitas perpindahan panas, temperatur air laut, LMTD

Abstract

Global climate change as an implication of global warming causes many physical changes that occur on the surface of the sea, one of which is the temperature of the rising sea water. The condenser is a major part of a Combine Cycle Power Plant (CCPP) system that serves to condense vapor or change the vapor phase after the expansion of the steam turbine into a liquid phase by transferring heat from the vapor into the cooling water medium, ie seawater. Theoretically, the temperature of seawater flowing in the cooling water circulation system has a significant effect on the heat transfer process in the condenser. Increased sea water temperatures will have an impact on decreasing the effectiveness of heat transfer occurring in the condenser so that a suitable coolant flow rate is required to restore the value of heat transfer effectiveness in the condenser. Therefore, it is necessary to analyze the effectiveness calculations that occur between the heat transfer based on the desired design targets of the manufacturer with the actual maximum heat transfer that the condenser may reach. The method used is to perform various calculations, ie calculation of coolant fluid convection coefficient by using Dittus-Boelter heat transfer correlation (forced convection), calculation of heat fluid convection coefficient by Log Mean Temperature Difference (LMTD) method, and calculation on effectiveness heat exchanger with effectiveness method - Number of Thermal Unit. The result of calculation and comparison of actual heat transfer effectivity value with the target of baseline condenser design in PLTGU Grati block 1 showed a decrease of heat transfer effectivity value from 78,15 [%] to 70,76 [%] which happened due to rising sea water temperature. Therefore, to maintain the value of heat transfer effectiveness so as not to decrease, a large open valve outlet condenser opening arrangement was performed to accelerate the flow rate of cooling water in each LMTD with the percentage of outlet valve openings between 46 [%] to 55 [%] so that the heat release in the refrigerant pipe occurs faster

Keywords: Condenser, effectiveness of heat transfer, sea water temperature, LMTD

I. PENDAHULUAN

I.I Latar belakang

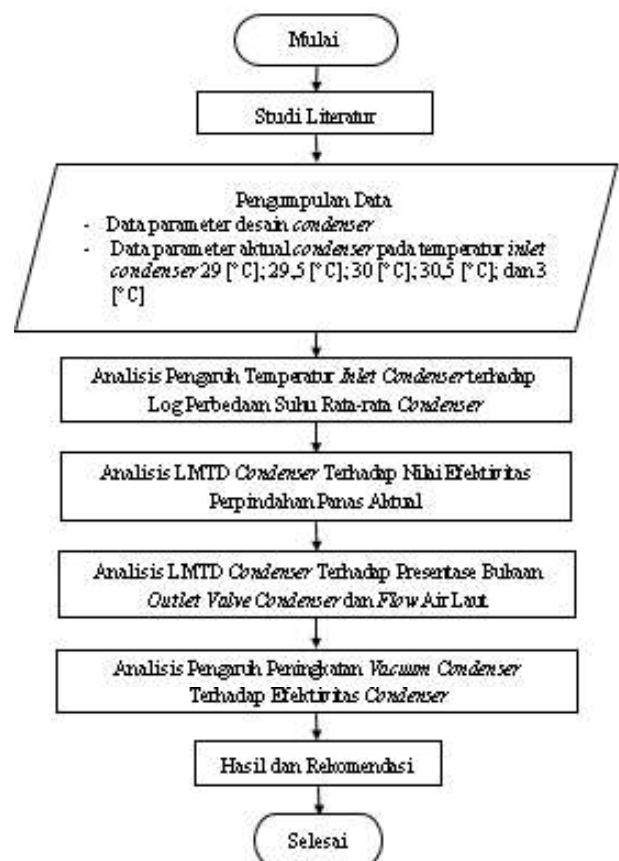
Condenser adalah salah satu mesin penukar kalor (*heat exchanger*) yang berfungsi untuk mengkondensasikan fluida kerja [1]. Pada PLTGU Perak Grati, fungsi *condenser* adalah untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin tekanan rendah dengan menggunakan air laut sebagai fluida pendinginnya yang kemudian air hasil kondensasi tersebut (air kondensat) dipompakan kembali ke HRSG. Sebagaimana alat penukar kalor lainnya model *condenser* yang digunakan di PLTGU Perak Grati yaitu model selongsong dan tabung (*shell and tube*). Dimana fluida pendingin berupa air laut mengalir pada tabung-tabung, sedangkan fluida kerja sistem yaitu uap keluaran turbin tekanan rendah mengalir di luar tabung [2]. *Condenser* merupakan salah satu komponen pada sistem PLTGU, yang dimana apabila mengalami masalah maka akan mengakibatkan menurunnya efisiensi pembangkit. Hal tersebut tidak diinginkan karena akan berpengaruh pada beban *steam turbine*. Salah satu masalah yang terjadi di *condenser* adalah meningkatnya temperatur air laut yang berdampak pada laju aliran air laut yang semakin cepat untuk menjaga nilai efektivitas perpindahan panas *condenser* agar tetap optimal [2]. Dalam hal ini kecepatan laju aliran air laut diatur oleh besarnya bukaan *outlet valve condenser* [3]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengaturan besar bukaan *valve outlet condenser* yang sesuai untuk mempercepat laju aliran air pendingin agar pelepasan panas dalam pipa pendingin terjadi lebih cepat.

I.II Tujuan

1. Menganalisa pengaruh temperatur inlet *condenser* terhadap log perbedaan suhu rata-rata *condenser* (*LMTD*).
2. Menganalisa nilai efektivitas perpindahan panas aktual *condenser* pada masing-masing *LMTD*.
3. Menganalisa presentase bukaan *outlet valve condenser* dan laju aliran air laut aktual pada masing-masing *LMTD*.
4. Memberikan solusi berupa metode pola operasi yang efektif dan efisien untuk menjaga nilai efektivitas *condenser* agar tetap optimal pada masing-masing *LMTD*.

II. METODE PENELITIAN

Analisis yang dilakukan untuk mengetahui efektivitas perpindahan panas *condenser*, dilakukan dengan metode kuantitatif. Data yang digunakan untuk analisis ini berupa data operasi *combine cycle* 3-3-1 dimana pembangkit beroperasi dengan 3 Turbin Gas, 3 HRSG, dan 1 Turbin Uap pada beban 75% dan berbahan bakar gas tanggal 1 Agustus – 30 September 2017 dengan mengambil beberapa parameter yang sesuai dengan target temperatur sebagai variable tetapnya. Temperatur yang akan dijadikan sebagai variable tetap yaitu temperatur di 29°C; 29,5°C; 30°C; 30,5°C; dan 31°C, dan beberapa parameter yang dipakai untuk menentukan nilai efektivitas aktual *condenser* antara lain *flow CWP*, *temperatur inlet steam LP turbin*, *temperatur outlet condenser*, dan *vakum kondensor*. Penelitian ini dilakukan dengan asumsi inlet valve *condenser* dibuka sebesar 100% (*full open*), *vent valve condenser* dibuka (*full open*) agar tidak ada udara yang terjebak di dalam *condenser*. dan tidak terjadi *condenser back pressure*.



Gambar II-1 Diagram Alir Penelitian

II.1 Perhitungan Perbedaan Temperatur Rata-rata dengan Metode Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Pendekatan *Log Mean Temperature Difference (LMTD)* untuk analisis *heat exchanger* berguna ketika suhu *inlet* dan *outlet* telah diketahui atau mudah untuk ditentukan. Dengan menggunakan metode pendekatan LMTD aliran panas, luas permukaan, dan koefisien transfer panas secara keseluruhan dapat ditentukan dengan mudah [4]. Penentuan nilai LMTD dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$LMTD = \frac{(Th_l - Tc_0) - (Th_l - Tc_i)}{LN \frac{(Th_l - Tc_0)}{(Th_l - Tc_i)}} \quad \text{[Persamaan. 1]}$$

Dimana: t_{hi} = temperatur *inlet LP turbine exhaust* [°C],
 t_{ci} = temperatur *inlet condenser* [°C],
 t_{co} = temperatur *outlet condenser* [°C]

Panas yang dilepas oleh fluida panas kemudian diterima oleh fluida dingin dengan menembus luasan sebesar A dengan koefisien U dan beda suhu rata-rata ΔT_{LMTD} dinyatakan dalam bentuk persamaan [4]:

$$\dot{Q} = U A \Delta T_{LMTD} \quad \text{[Persamaan. 2]}$$

Dimana: U = overall heat transfer coefficient [W/m² °C]
A = surface area per meter tube [m²],
 ΔT_{LMTD} = beda temperature saat LMTD [°C]

II.4 Perhitungan Efektivitas dengan metode *Effectiveness – Number of Transfer Unit (ε – NTU)*

II.4.1 Perhitungan Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin. Laju perpindahan panas yang terjadi di *condenser* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$\dot{Q} = \dot{C}_{min} (T_{hi} - T_{ci}) [1 - \exp(UA/C_{min})] \quad \text{[Persamaan. 3]}$$

Dimana: \dot{C}_{min} = $\dot{m}_c c_c$ untuk *condenser* (fluida hasil kondensasi yang mengami kehilangan panas) [W/°C],
 t_{hi} = temperatur *inlet LP turbine exhaust* [°C],
 t_{ci} = temperatur *inlet condenser* [°C]

II.4.2 Perhitungan nilai NTU (*Number of Transfer Unit*)

Dalam kaitannya dengan efektivitas perpindahan panas dari *condenser* maka dapat dihubungkan dengan metode ϵ -NTU, dimana NTU (*Number of Transfer Unit*) dinyatakan dengan persamaan [4]:

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}} \quad \text{[Persamaan. 4]}$$

Dimana: \dot{C}_{min} = $\dot{m}_c c_c$ untuk *condenser* (fluida hasil kondensasi yang mengami kehilangan panas) [W/°C],
U = overall heat transfer coefficient [W/m² °C]
A = surface area per meter tube [m²],

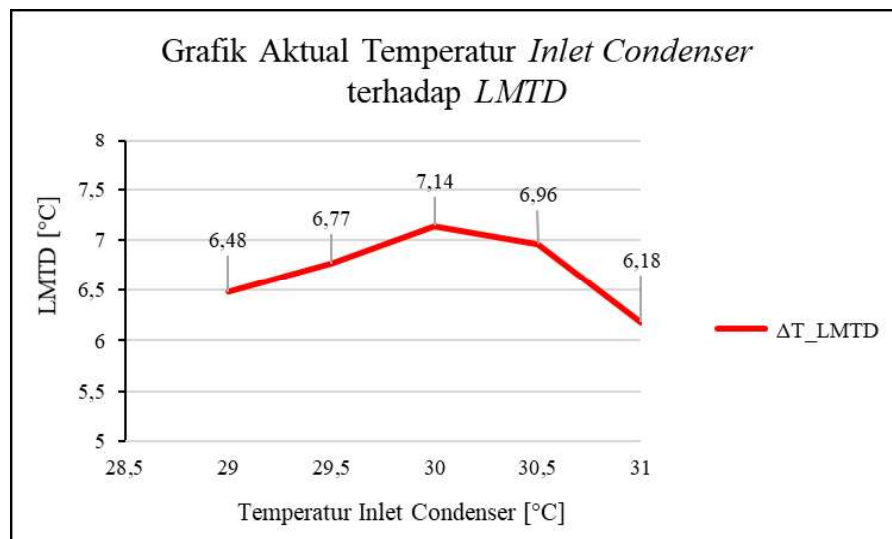
Dalam kasus yang menyangkut proses mendidih atau kondensasi, persamaan efektivitas diatas tidak dapat digunakan karena suhu fluida tetap pada dasarnya konstan atau fluida bertindak seolah-olah memiliki panas spesifik yang tidak terbatas. Sehingga C_{min}/C_{max} adalah 0 (nol) dan semua hubungan terhadap efektivitas *heat exchanger* mendekati satu persamaan sederhana yaitu [4]:

$$\text{Effectiveness} = \varepsilon = 1 - e^{-NTU} \quad [\text{Persamaan. 5}]$$

Dimana: NTU = *Number of Transfer Unit*
 ε = Efektivitas Perpindahan Panas
 e = bilangan natural (2,718)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

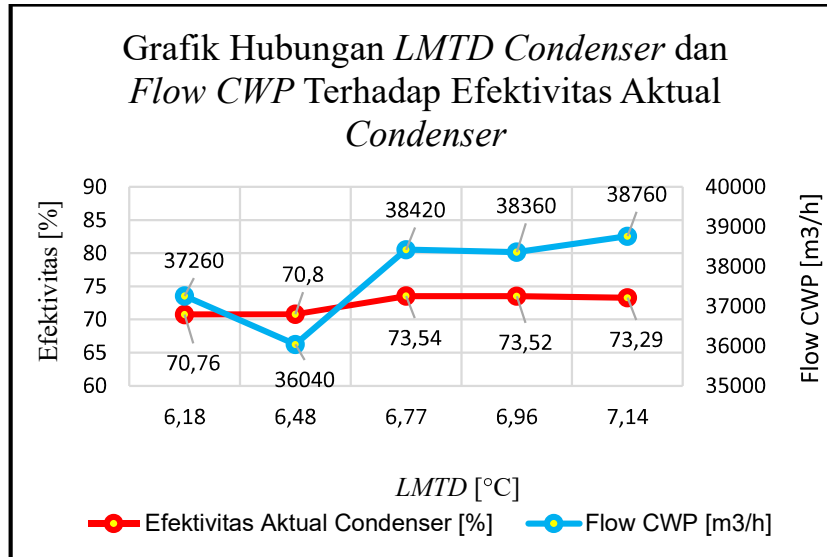
III.1 Grafik Hasil Perhitungan *Log Mean Temperature Difference (LMTD) Condenser*



Gambar III-1 Grafik aktual *temperatur inlet condenser* terhadap ΔT_{LMTD}

Berdasarkan grafik pada gambar III-1 dapat diketahui bahwa hubungan antara temperatur *inlet condenser* dengan *LMTD* adalah tidak linear. Hal ini disebabkan karena temperatur uap yang masuk ke *condenser (Inlet LP Turbine Exhaust)* tidak selalu sama pada masing-masing *temperatur inlet condenser*. Pada gambar III-1 terlihat bahwa ΔT_{LMTD} mengalami peningkatan dari temperatur 29 [°C] hingga temperatur 30 [°C] dan kembali menurun di temperatur 30,5 [°C] hingga temperatur 31 [°C]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa proses pertukaran panas yang optimal berada di temperatur 30 [°C].

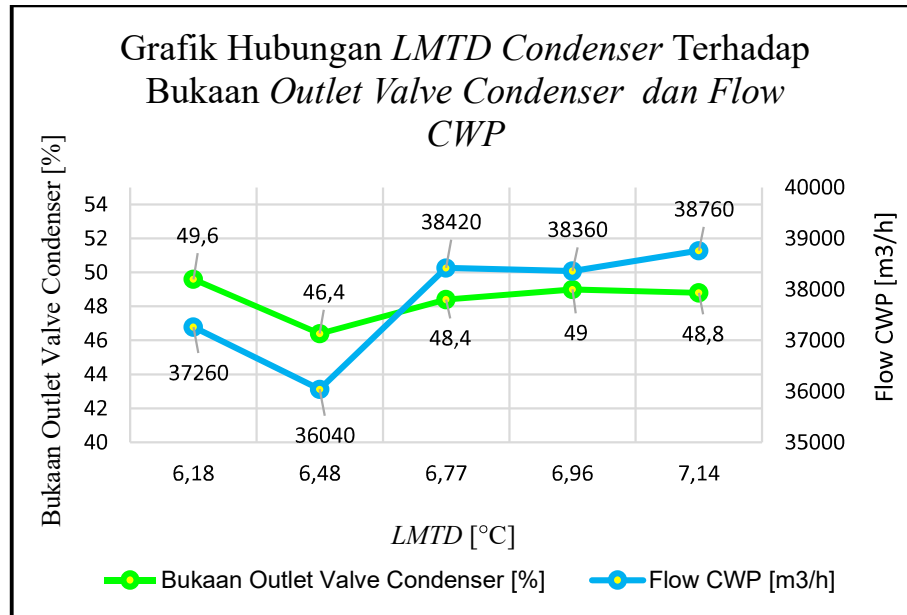
III.2 Grafik Hasil Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas Aktual *Condenser*



Gambar III-2 Grafik hubungan LMTD *condenser* dan *flow CWP* terhadap efektivitas aktual *condenser*

Dari grafik pada gambar III.2 dapat diketahui bahwa efektivitas tertinggi yang dapat dicapai *condenser* yaitu 73,54 [%] pada LMTD 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38420 [m³/h]. Sedangkan untuk efektivitas terendah yaitu 70,76 [%] pada LMTD 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37260 [m³/h]. Berdasarkan grafik pada gambar III.2 dapat diketahui bahwa LMTD 6,77 [°C] dengan LMTD 6,96 [°C] memiliki beda efektivitas yang tidak terlalu jauh hal ini disebabkan karena *flow CWP* dapat menyesuaikan LMTD yang dihasilkan, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan LMTD yang berbeda dapat menghasilkan efektivitas yang sama jika *flow CWP* diatur sesuai dengan titik pola operasinya.

Dari grafik pada gambar III.2 dapat dilihat pada LMTD 6,48 [°C] yang memiliki *flow CWP* lebih rendah dibandingkan LMTD 6,18 [°C] namun memiliki nilai efektivitas yang tidak jauh berbeda. Hal ini dapat disebabkan karena pengaruh temperatur *inlet condenser* seperti yang ditunjukkan pada gambar III.1 dimana semakin rendah temperatur *inlet condenser* maka *flow CWP* yang dihasilkan semakin menurun.



Gambar III-3 Grafik hubungan LMTD condenser dan flow CWP terhadap bukaan outlet valve aktual condenser

Dari grafik pada gambar III.3 dapat diketahui bahwa presentase bukaan outlet valve condenser tertinggi terukur sebesar 49,6 [%] pada LMTD 6,18 [°C] dengan flow CWP 37260 [m³/h]. Sedangkan untuk presentase bukaan outlet valve condenser terendah terukur sebesar 46,4 [%] pada LMTD 6,48 [°C] dengan flow CWP 36040 [m³/h].

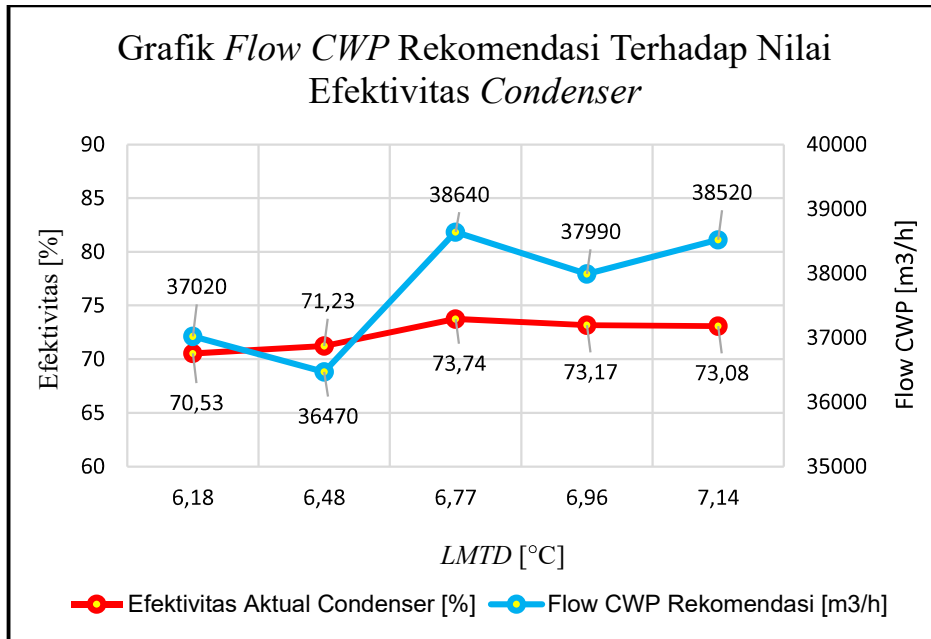
Ketidaksihinggaan flow CWP yang dihasilkan terlihat pada LMTD 6,77 [°C]; 6,96 [°C]; dan 7,14 [°C] dimana bukaan outlet valve condenser lebih rendah dari 49,6 [%] namun dapat menghasilkan flow CWP yang lebih besar dari 37260 [m³/h]. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor beberapa diantaranya adalah level air laut yang tidak konstan dan pressure discharge CWP yang tidak selalu sama.

III.3 Hasil Perhitungan Efektivitas Perpindahan Panas Condenser Rekomendasi

Tabel III-1 merupakan hasil perhitungan efektivitas perpindahan panas condenser dengan menggunakan maksimum flow CWP 46070 [m³/h] dan menyesuaikan dengan standar optimal vacuum condenser pada PLTGU Grati yaitu sebesar 697 [mmHg] yang diukur pada LMTD masing-masing.

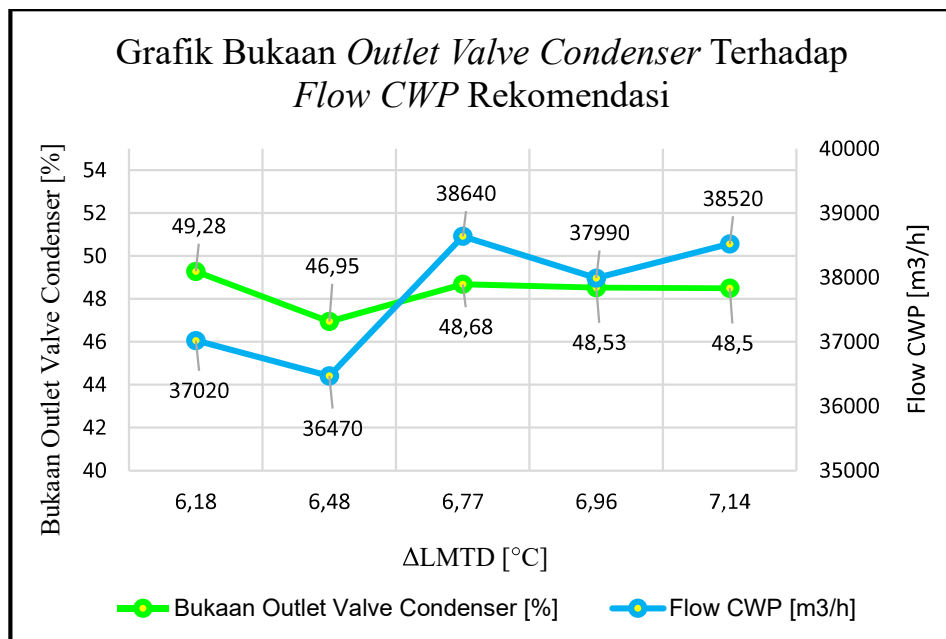
Tabel III-1 Data hasil perhitungan efektivitas condenser yang direkomendasikan pada vacuum condenser 697 [mmHg]

Δ LMTD	Bukaan Outlet Valve Condenser [%]	Flow CWP [m³/h]	Vacuum Condenser (mmHg)	Efektivitas [%]
6,48	46,95	36470	697	71,23
6,77	48,68	38640	697	73,74
7,14	48,5	38520	697	73,08
6,96	48,53	37990	697	73,17
6,18	49,28	37020	697	70,53



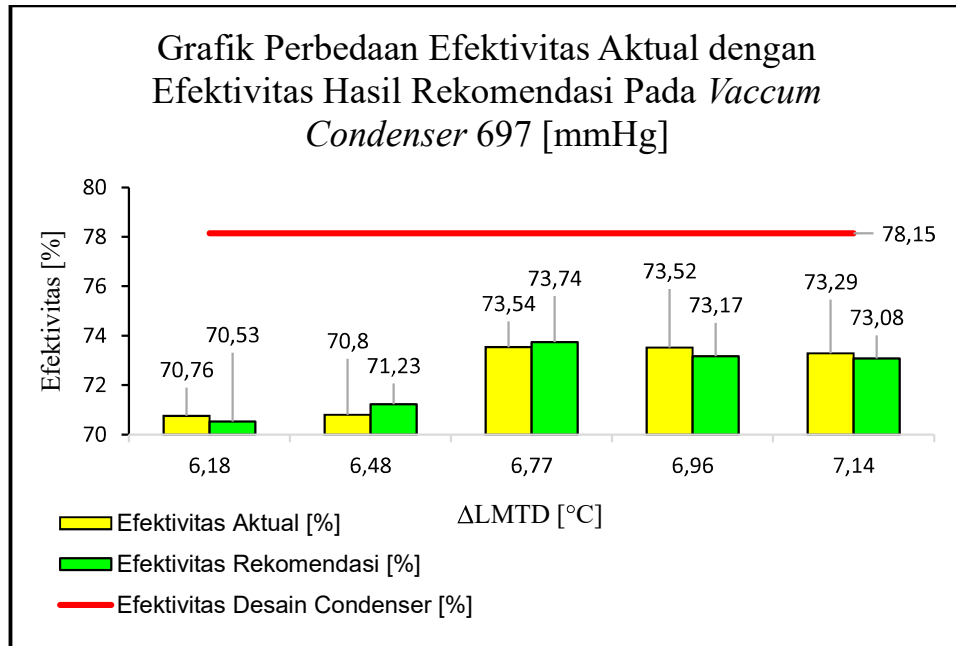
Gambar III-4 Grafik hubungan *LMTD* condenser dan *flow CWP* terhadap efektivitas *condenser* pada *vacuum condenser* 697 [mmHg]

Dari grafik pada gambar III.4 dapat diketahui bahwa efektivitas tertinggi yang dapat dicapai *condenser* yaitu 73,74 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38640 [m³/h]. Sedangkan untuk efektivitas terendah yaitu 70,53 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37020 [m³/h].



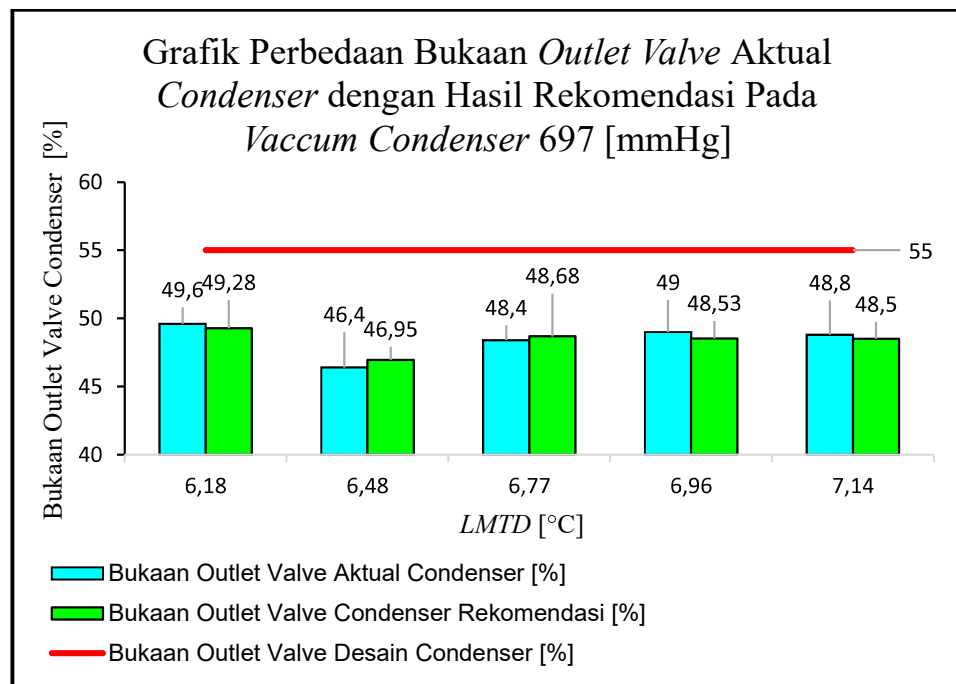
Gambar III-5 Grafik hubungan *LMTD* condenser dan *flow CWP* terhadap buka-an *outlet valve condenser* pada *vacuum condenser* 697 [mmHg]

Dari grafik pada gambar III.5 dapat diketahui bahwa presentase buka-an *outlet valve condenser* tertinggi terukur sebesar 48,68 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38640 [m³/h]. Sedangkan untuk presentase buka-an *outlet valve condenser* terendah terukur sebesar 46,95 [%] pada *LMTD* 6,48 [°C] dengan *flow CWP* 36470 [m³/h].



Gambar III-6 Grafik perbedaan antara efektivitas aktual dengan efektivitas rekomendasi

Dari grafik pada gambar III-6 efektivitas tertinggi berada pada $LMTD$ 6,77 [°C] dengan nilai efektivitas rekomendasi sebesar 73,74 [%] dimana masih sangat jauh dari efektivitas desain *condenser* yang memiliki nilai efektivitas sebesar 78,15 [%]. Berdasarkan grafik pada gambar III-6 dapat diketahui bahwa efektivitas aktual *condenser* mengalami penurunan efektivitas pada $LMTD$ 6,18 [°C]; $LMTD$ 6,96 [°C]; $LMTD$ 7,14 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 0,23 [%]; 0,35 [%]; 0,21 [%] dan mengalami kenaikan efektivitas pada $LMTD$ 6,48 [°C]; $LMTD$ 6,77 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 0,43 [%]; dan 0,2 [%].



Gambar III-7 Grafik perbedaan antara bukaan *outlet valve condenser* aktual dengan efektivitas rekomendasi

Dari grafik pada gambar III-7 bukaan *outlet valve condenser* tertinggi berada pada *LMTD* 5,89 [°C] dengan bukaan *outlet valve* 49,69 [%] dimana tidak melewati batas bukaan *outlet valve* desain *condenser* sebesar 55 [%]. Berdasarkan grafik pada gambar III-7 dapat diketahui bahwa bukaan *outlet valve condenser* aktual mengalami penurunan bukaan *outlet valve condenser* pada *LMTD* 6,18 [°C]; *LMTD* 6,96 [°C]; *LMTD* 7,14 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 0,32 [%]; 0,47 [%]; 0,3 [%] dan mengalami kenaikan efektivitas pada *LMTD* 5,89 [°C]; *LMTD* 6,48 [°C] dengan selisih berturut-turut sebesar 1,29 [%]; dan 0,55 [%].

III.5 Hasil Perhitungan Pola Operasi Bukaan *Outlet Valve Condenser* Tiap Perubahan Temperatur

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui pola operasi yang tepat antara bukaan *outlet valve condenser* untuk mencapai nilai efektivitas yang optimal pada masing-masing *LMTD* dalam bentuk tabel sebagai berikut

Tabel III-2 Hasil Rekomendasi Pola Operasi Bukaan *Outlet Valve Condenser*

Pola Operasi Bukaan <i>Outlet Valve Condenser</i>					
<i>LMTD</i> [°C]	6,18	6,48	6,77	6,96	7,14
Temperatur <i>Inlet Condenser</i> [°C]	31	29	29,5	30,5	30
Bukaan <i>Outlet Valve Condenser</i> [%]	49,28	46,95	48,68	48,53	48,5

IV. KESIMPULAN

1. Hubungan antara temperatur *inlet condenser* dengan log perbedaan suhu rata-rata *condenser* (*LMTD*) adalah tidak linear. Hal ini disebabkan karena temperatur uap yang masuk ke *condenser* (*Inlet LP Turbine Exhaust*) tidak selalu sama pada masing-masing temperatur *inlet condenser*. Dari hasil analisa antara temperatur *inlet condenser* terhadap *LMTD* dapat disimpulkan bahwa proses pertukaran panas yang optimal berada di temperatur 30 [°C].
2. Nilai efektivitas aktual *condenser* tertinggi yang dapat dicapai *condenser* yaitu sebesar 73,54 [%] pada *LMTD* 6,77 [°C] dengan *flow CWP* 38420 [m³/h]. Sedangkan untuk efektivitas terendah yaitu 70,76 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37260 [m³/h]. Dari hasil analisa terhadap efektivitas aktual *condenser* dapat disimpulkan bahwa dengan *LMTD* yang berbeda efektivitas yang sama dapat dihasilkan, jika *flow CWP* diatur sesuai dengan titik pola operasinya. Selain itu temperatur *inlet condenser* juga memiliki pengaruh yang besar dimana *flow CWP* akan menurun jika temperatur *inlet condenser* semakin rendah.
3. Presentase aktual bukaan *outlet valve condenser* tertinggi terukur sebesar 49,6 [%] pada *LMTD* 6,18 [°C] dengan *flow CWP* 37260 [m³/h]. Sedangkan untuk presentase bukaan *outlet valve condenser* terendah terukur sebesar 46,4 [%] pada *LMTD* 6,48 [°C] dengan *flow CWP* 36040 [m³/h]. Dari hasil analisa terhadap bukaan *outlet valve condenser* terdapat ketidaksesuaian *flow CWP* yang dihasilkan terlihat pada *LMTD* 6,77 [°C]; 6,96 [°C]; dan 7,14 [°C] dimana bukaan *outlet valve condenser* lebih rendah dari 49,6 [%] namun dapat menghasilkan *flow CWP* yang lebih besar dari 37260 [m³/h]. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor beberapa diantaranya adalah level air laut yang tidak konstan dan *pressure discharge CWP* yang tidak selalu sama.
4. Solusi untuk menjaga nilai efektivitas *condenser* agar tetap optimal dengan membuat metode pola operasi yang efektif dan efisien pada masing-masing *LMTD*. Hasil perhitungan dengan nilai *vacuum condenser* sebesar 697 [mmHg] didapatkan presentase bukaan *valve outlet condenser* secara berturut-turut sebesar 49,28 [%]; 46,95 [%]; 48,68 [%]; 48,53 [%]; dan 48,5 [%], pada *LMTD* berturut-turut 6,18 [°C]; 6,48 [°C]; 6,77 [°C]; 6,96 [°C]; dan 7,14 [°C].

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN Corporate University, Pengenalan Pembangkit, Jakarta: PT PLN, 2016.
- [2] PLN Corporate University, Pengoperasian PLTU, Jakarta: PT.PLN, 2016.
- [3] PLN Corporate University, Pengoperasian PLTGU Edisi II, Jakarta: PT PLN, 2016.
- [4] J. P. Holman, Heat Transfer Tenth Edition, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [5] L. Mitshubishi Heavy Industries, Grati Combine Cycle Power Plant 1 x 500 MW + 3 x 1000 MW Design Manual, PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero), 1995.
- [6] H. E. Institute, STANDARDS for STEAM SURFACE CONDENSERS, Cleveland, Ohio: Heat Exchange Institute Incorporated, 2012.

ANALISIS ISOLASI DAN DESAIN MODIFIKASI PADA EXPANSION JOINT LOW PRESSURE BLEED VALVE

Kamilia Fitria Maharani¹; Dewin Purnama; Arifia Ekayuliana

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,

Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹kamiliafitriamaharani@gmail.com

Abstrak

Kompresor merupakan peralatan yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dan temperatur udara sebelum masuk ruang bakar. Kompresor terdiri dari beberapa tingkat dan di setiap tingkat tekanan udara ditingkatkan. Turbin gas yang digunakan di PLTGU Priok Blok 3 adalah turbin gas mitsubishi tipe M701F. Pada tipe ini, kompresor terdiri dari 17 tingkat yang dilengkapi dengan 3 katup berdarah untuk mencegah lonjakan selama akselerasi dan deselerasi. Surging merupakan sebuah fenomena yang terjadi dalam kompresor (khususnya kompresor aksial) ketika aliran udara yang mengalir masuk ke kompresor, aliran udara akan turun drastis dan tidak dapat dipertahankan lagi karena peningkatan tekanan keluaran kompresor melebihi kemampuan tekanan pada kompresor, sehingga akan terjadi aliran balik pada kompresor. Masalah yang terjadi pada PLTGU Priok Blok 3 adalah expansion joint LP bleed valve GT 3.2 mengalami pecah. Kerusakan tersebut menyebabkan peningkatan temperatur pada bangunan turbin gas-sistem bahan bakar gas hingga melebihi standar temperatur yang diizinkan yaitu 80 °C yang dalam jangka panjang berpotensi merusak peralatan instrumentasi dan kontrol yang terpasang pada bangunan turbin gas-sistem bahan bakar gas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketahanan pipa modifikasi expansion joint LP bleed valve GT 3.2 dalam menerima temperatur dan tekanan maksimal yang melalui jalur LP bleed line. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan tegangan pipa dan ekspansi termal yang terjadi pada pipa modifikasi expansion joint. Desain modifikasi expansion joint LP bleed valve GT 3.2 juga dibuat dalam bentuk simulasi dengan menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan software ANSYS 16. Berdasarkan perhitungan terbukti bahwa modifikasi expansion joint LP bleed valve tersebut sudah cukup fleksibel untuk menyerap ekspansi akibat perubahan temperatur yang terjadi. Simulasi CFD menunjukkan bahwa pada modifikasi expansion joint LP bleed valve cukup baik dalam mengalirkan LP bleed air, namun adanya celah kecil yang terbuka menyebabkan adanya aliran balik menuju keluar pipa. Aliran balik tersebut memiliki karakteristik yaitu jumlahnya sangat kecil, berkecepatan rendah dan bertekanan 1 bar.

Kata Kunci: expansion joint, LP bleed air, LP bleed valve, modifikasi, pipa

Abstract

The compressor is a device that served to increase the pressure and temperature of the air before entering the combustion chamber. The compressor consisted of several stages and at each level the air pressure is increased. Gas turbine that used in PLTGU Priok Block 3 is gas turbine mitsubishi type M701F. In this type, the compressor consisted of 17 stages that equipped with 3 bleed valve to prevent surging during acceleration and deceleration. Surging is a phenomenon that occurs in the compressor (especially the axial compressor) when the flow of air flowing into the compressor, the air flow will drop dramatically and can not be maintained again because of increased pressure discharge compressor exceeds the pressure on the compressor, so there will be backflow) on the compressor. The problem that occurred in PLTGU Priok Block 3 is expansion joint LP bleed valve GT 3.2 has broken. The damage caused an increase in temperature in the fuel gas system-gas turbine building to exceed the allowable temperature standard of 80 °C which in the long term potentially damages the instrumentation and control equipment installed in the fuel gas system-gas turbine building. This study aimed to analyze the resistance of modified expansion joint LP bleed valve GT 3.2 in receiving the maximum temperature and pressure through the LP bleed line. The method used in this study is the calculation of pipe tension and thermal expansion that occur in the modified expansion joint pipe. The design of modified expansion joint LP bleed valve GT 3.2 is also made in the form of simulation using Computational Fluid Dynamics (CFD) method with ANSYS 16 software. Based on the calculations proved that the modification of expansion joint LP bleed valve is flexible enough to absorb the expansion due to temperature changes. The CFD simulation showed that modified expansion joint LP bleed valve is good enough to drain the LP bleed air, but the small open gap caused the backflow to the outlet. The backflow had characteristics that are very small, low speed and 1 bar pressure.

Keywords: expansion joint, LP bleed air, LP bleed valve, modification, pipe

1. PENDAHULUAN

Turbin gas adalah sebuah mesin pembakaran dalam yang dapat mengubah energi kalor dari bahan bakar gas menjadi energi gerak dengan memanfaatkan ekspansi dari hasil pembakaran gas untuk menekan sudu-sudu turbin agar dapat berputar dan memutar generator untuk menghasilkan listrik. Turbin gas terdiri dari tiga komponen utama, yaitu *compressor*, *combuster* dan *turbine*.

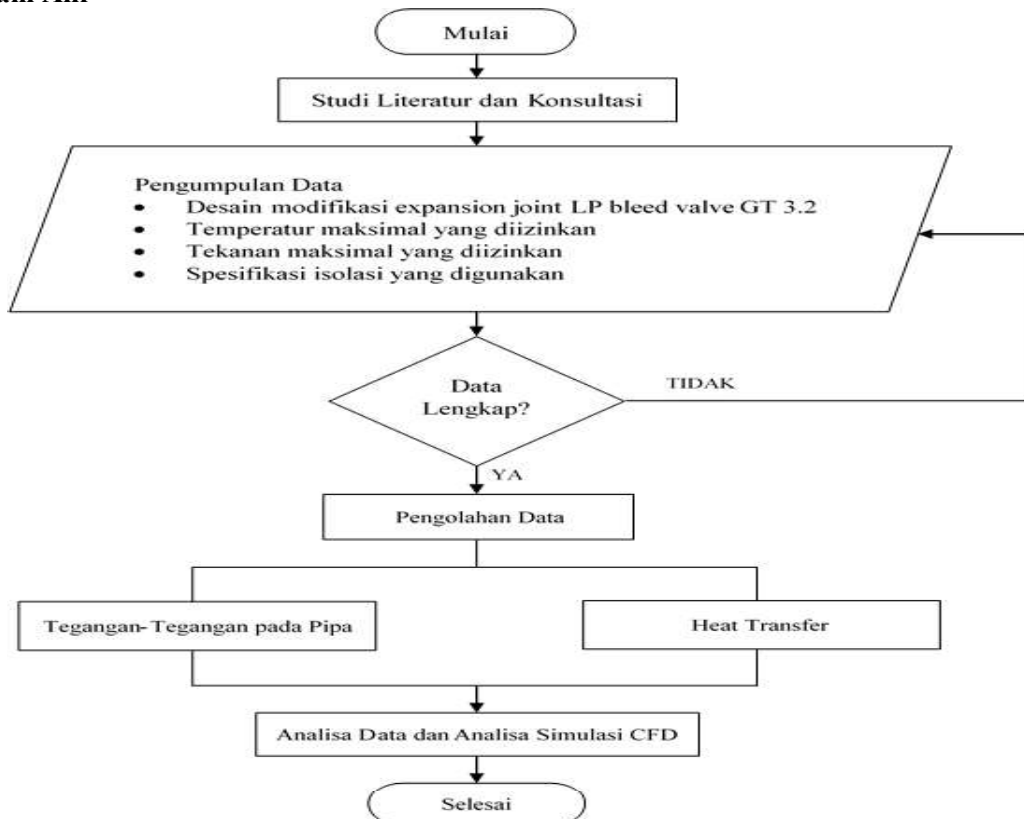
Compressor merupakan peralatan yang berfungsi untuk menaikkan tekanan dan temperatur udara sebelum masuk *combuster* [1]. *Compressor* terdiri dari beberapa *stage*, pada tiap *stage* udara ditingkatkan tekanannya. PLTGU Priok Blok 3 menggunakan turbin *manufacture Mitsubishi Hitachi Power System (Mitsubishi Heavy Industries Ltd) type M701F*. Pada *type* ini *compressor* terdiri dari 17 *stage* yang dilengkapi dengan 3 *bleed valve* untuk mencegah terjadinya *surging* saat akselerasi dan deselerasi. Udara bertekanan dilepaskan dari *stage* 6 (*LP*), 11 (*MP*), dan 14 (*HP*). *MP* dan *LP bleed valve* terbuka saat *start up* dan *coast down*. Sedangkan *HP bleed valve* dibuka hanya saat *coast down*, namun pada saat normal operasi semua *bleed valve* ditutup.

Permasalahan pada PLTGU Priok Blok 3 adalah terjadinya pecah pada *expansion joint LP bleed valve*. Ketika terjadi pecah pada *expansion joint LP bleed valve* maka udara panas bertemperatur dan bertekanan tinggi keluar ke *fuel gas system-gas turbine building*. Kerusakan tersebut menyebabkan peningkatan temperatur pada *fuel gas system-gas turbine building* hingga melebihi standar temperatur yang diizinkan yaitu 80 °C yang dalam jangka panjang berpotensi merusak peralatan instrumentasi dan kontrol yang terpasang pada *fuel gas system-gas turbine building*. Dalam rangka mendukung penggantian *expansion joint LP bleed valve* yang mengalami kerusakan agar proses *start-stop* turbin gas dapat kembali berjalan lancar dan menjaga peralatan instrumen kontrol dari kerusakan akibat temperatur ruang *GT* yang tinggi maka dilakukan modifikasi *expansion joint LP bleed valve*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketahanan dari desain modifikasi *expansion joint LP bleed valve GT 3.2* dalam menerima temperatur dan tekanan maksimal yang melalui jalur *LP bleed line*.

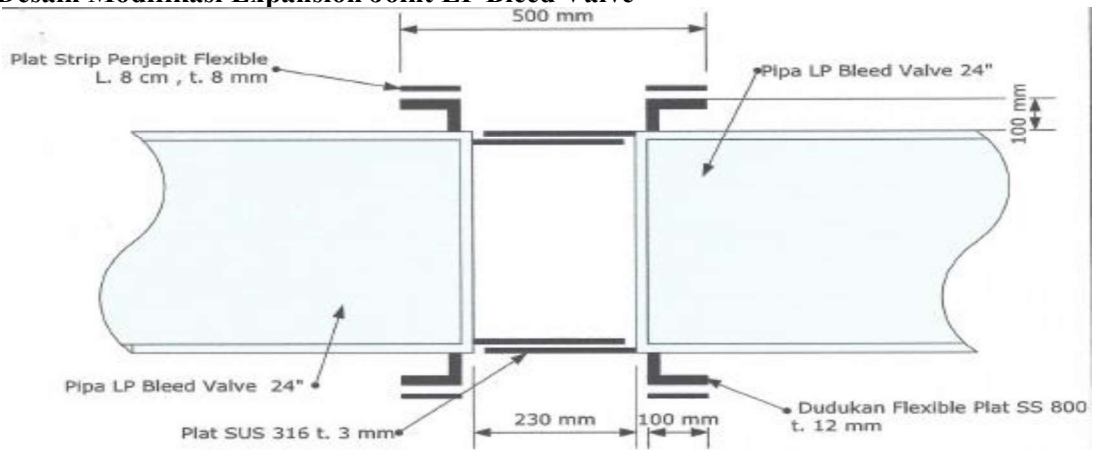
2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Alir



Gambar.1 Diagram Alir Penelitian

2.2. Desain Modifikasi Expansion Joint LP Bleed Valve



Gambar. 2 Modifikasi Expansion Joint LP Bleed Valve

2.3. Pengolahan Data

2.3.1. Tegangan Pipa [2]

2.3.1.1. Tegangan Longitudinal Pipa

a) Tegangan Aksial

$$F_{ax} = P \cdot A \quad [2.1]$$

$$A_m = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2) \quad [2.2]$$

$$\sigma_a = \frac{F_{ax}}{A_m} \quad [2.3]$$

Dimana:

P = Tekanan fluida dalam pipa [N/m^2]

F_{ax} = Gaya aksial [N]

A = Luas diameter dalam pipa [m^2]

A_m = Luas permukaan pipa [m^2]

d_0 = Diameter luar pipa [m]

d_1 = Diameter dalam pipa [m]

b) Tegangan Akibat Tekanan Dalam Pipa (*Internal Pressure*)

$$\sigma_{ip} = \frac{P \cdot d_0}{4t} \quad [2.4]$$

Dimana:

t = Ketebalan dinding pipa [m]

2.3.1.2. Tegangan Sirkumferensial (*Hoop Stress*)

$$\sigma_H = \frac{P d_0}{2t} \quad [2.5]$$

2.3.2. Ekspansi Termal

2.3.2.1. Ekspansi Linier (Panjang)

$$\Delta L = L_o \cdot \alpha_T \cdot \Delta T \quad [2.6]$$

Dimana:

ΔL = Pemuai panjang [m]

L_o = Panjang mula-mula [m]

α_T = Koefisien ekspansi termal

ΔT = Perbedaan temperatur (*akhir - awal*) [$^{\circ}C$]

2.3.2.2. Ekspansi Radial (Volume)

$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad [2.7]$$

Dimana:

ΔV = Pemuai volume [m^3]

V_o = Volume mula-mula [m^3]

γ_T = Koefisien ekspansi termal ($\gamma = 3 \cdot \alpha_T$)

ΔT = Perbedaan temperatur (*akhir - awal*) [$^{\circ}C$]

2.4. Simulasi *Computational Fluid Dynamics*

Simulasi ini dimaksudkan untuk meyakinkan apakah desain modifikasi *expansion joint LP bleed valve GT 3.2* dapat diterapkan untuk pengganti *expansion joint* yang telah mengalami kerusakan. Desain modifikasi *expansion joint* ini perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui seberapa baik kinerja dari desain modifikasi tersebut dalam mengalirkan udara *LP bleed air*. Analisa aliran udara yang melewati desain modifikasi *expansion joint* ini dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan *Software ANSYS 16*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Analisa Perhitungan Manual

Tegangan Aksial

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_1^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,54172 \text{ m})^2 = 0,23048 \text{ m}^2$$

$$F_{ax} = P \cdot A = 390 \frac{kN}{m^2} \times 0,23048 \text{ m} = 89,8872 \text{ kN}$$

$$A_m = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} ((0,54772 \text{ m})^2 - (0,54172 \text{ m})^2) = 0,005134 \text{ m}^2$$

$$\sigma_a = \frac{F_{ax}}{A_m} = \frac{89,8872 \text{ kN}}{0,005134 \text{ m}^2} = 17508,21971 \frac{kN}{m^2}$$

Tegangan Akibat Tekanan Dalam Pipa

$$\sigma_{ip} = \frac{P \cdot d_o}{4t} = \frac{390 \text{ kN} \times 0,54772 \text{ m}}{4 \times 0,003 \text{ m}} = 17800,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Tegangan Sirkumferensial (Hoop Stress)

$$\sigma_H = \frac{P d_o}{2t} = \frac{390 \text{ kN} \times 0,54772 \text{ m}}{2 \times 0,003 \text{ m}} = 35601,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Ekspansi Termal Aksial (Panjang)

$$\Delta L = L_o \cdot \alpha_T \cdot \Delta T = 0,0022746 \text{ m} \times (17,5 \cdot 10^{-6}) \text{ m} \times 215 \text{ }^\circ\text{C} = 8,558 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Tabel. 1 Ekspansi Termal Aksial Pada Beberapa Perbedaan Temperatur

T_t [°C]	T_o [°C]	ΔT [°C]	ΔL [m]
245	30	215	$8,558 \cdot 10^{-4}$
245	40	205	$8,160 \cdot 10^{-4}$
245	50	195	$7,762 \cdot 10^{-4}$
245	60	185	$7,364 \cdot 10^{-4}$

Ekspansi Termal Radial (Volume)

$$\Delta V = V_o \cdot \gamma \cdot \Delta T = 0,0011613 \text{ m} \times (3 \times (17,5 \cdot 10^{-6})) \text{ m} \times 215 \text{ }^\circ\text{C} = 1,3108 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Tabel. 2 Ekspansi Termal Radial Pada Beberapa Perbedaan Temperatur

T_t [°C]	T_o [°C]	ΔT [°C]	ΔV [m ³]
245	30	215	$8,558 \cdot 10^{-4}$
245	40	205	$8,160 \cdot 10^{-4}$
245	50	195	$7,762 \cdot 10^{-4}$
245	60	185	$7,364 \cdot 10^{-4}$

Fleksibilitas Pipa

$$\frac{d_o \cdot \Delta L}{(L - U)^2} \leq 208,3$$

$$\frac{0,54772 \text{ m} \times (8,558 \cdot 10^{-4}) \text{ m}}{((227,46 \cdot 10^{-3} \text{ m} - 0,23 \text{ m})^2)} \leq 208,3$$

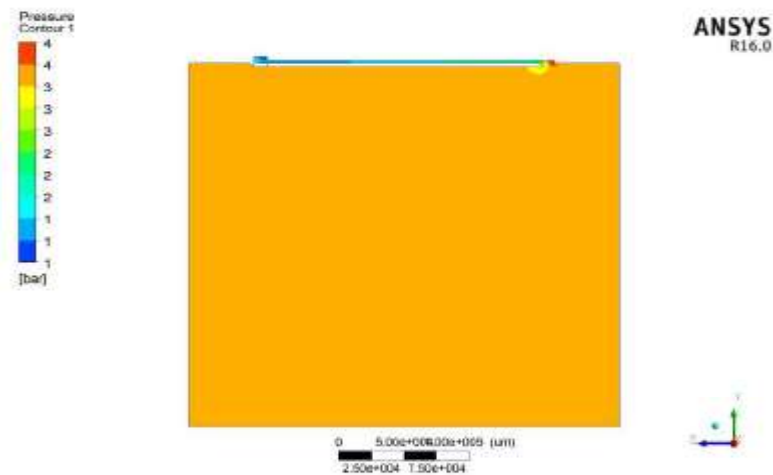
$$72,6547 \leq 208,3$$

Tabel. 3 Fleksibilitas Pipa Pada Beberapa Ekspansi Termal Aksial

ΔL [m]	Fleksibilitas Pipa
$8,558 \cdot 10^{-4}$	72,6547
$8,160 \cdot 10^{-4}$	69,2758
$7,762 \cdot 10^{-4}$	65,8969
$7,364 \cdot 10^{-4}$	62,5180

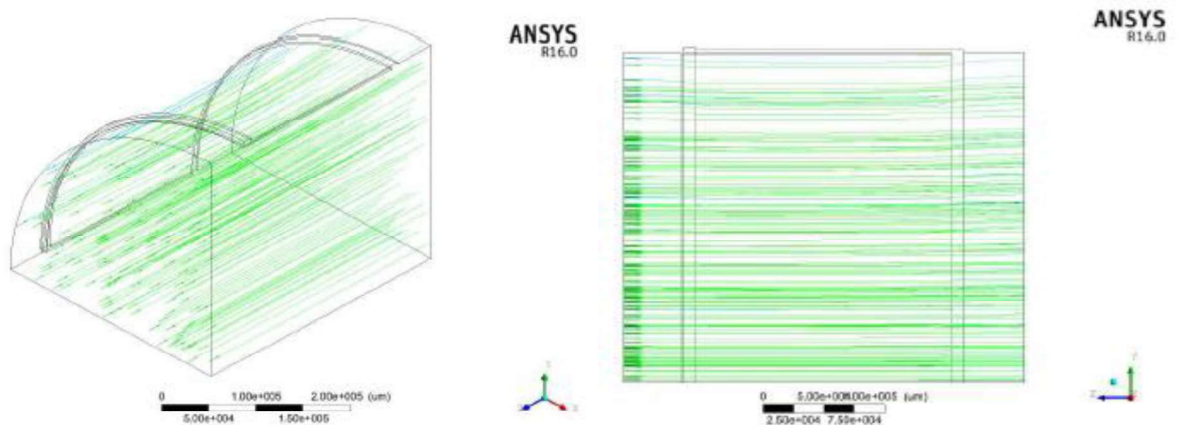
Dari hasil perhitungan, dapat dikatakan modifikasi *expansion joint LP bleed valve* tersebut sudah cukup fleksibel untuk menyerap ekspansi akibat perubahan temperatur yang terjadi.

3.2. Hasil Analisa Distribusi Tekanan Dengan *Pressure Contour* Menggunakan Software ANSYS



Dari hasil simulasi, dibuat visualisasi kontur tekanan untuk melihat tekanan udara yang mengalir melewati *expansion joint*. Dari hasil visualisasi di atas dapat kita lihat bahwa tekanan di dalam pipa *expansion joint* berkontur warna *orange* yang berarti tekanan di dalam berkisar pada tekanan 3.9 bar, sedangkan pada celah antara selongsong pipa modifikasi ke arah udara luar berwarna kuning menuju biru dimana warna tersebut menunjukkan tekanan yang mengecil dari 3.5 bar sampai 1 bar. Tekanan rendah ini diakibatkan adanya celah kecil ke arah luar pipa.

3.3. Hasil Analisa Garis Aliran Dengan *Flow Simulation* Menggunakan Software ANSYS



Gambar diatas adalah hasil visualisasi yang menunjukkan *streamline* atau garis aliran di dalam pipa *expansion joint*. Dari hasil visualisasi tersebut menunjukkan modifikasi *expansion joint* cukup baik dalam mengalirkan *LP Bleed Air*. Namun karena adanya celah kecil yang terbuka dapat mengakibatkan adanya aliran balik menuju keluar pipa. Hal ini ditunjukkan dengan garis aliran pada gambar kedua bagian atas pipa di dekat selongsong pipa terdapat garis yang berputar balik menuju celah. Garis aliran yang memasuki celah tersebut berwarna biru yang menunjukkan bahwa ada aliran yang keluar namun jumlahnya sangat kecil dan berkecepatan rendah. Untuk menanggulangi adanya udara bertemperatur tinggi yang keluar dari jalur perpipaan maka perlu ditambahkan penutup pada celah tersebut.

4. KESIMPULAN

1. Modifikasi *expansion joint LP bleed valve* tersebut sudah cukup fleksibel untuk menyerap ekspansi akibat perubahan temperatur yang terjadi.
2. Modifikasi *expansion joint* cukup baik dalam mengalirkan *LP Bleed Air*. Namun karena adanya celah kecil yang terbuka dapat mengakibatkan adanya aliran balik menuju keluar pipa yang jumlahnya sangat kecil dan berkecepatan rendah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] PLN Corporate University. Pengoperasian PLTGU Edisi I. Jakarta: PT PLN. 2013.
- [2] Maulana, Arif. Perhitungan Tegangan Pipa Dari Discharge Kompresor Menuju Air Cooler Menggunakan Software CAESAR II 5.10 Pada Proyek Gas Lift Compressor Station. JTM, Vol. 05, No. 2. Juni 2016.

ANALISIS PENGARUH UDARA AMBIENT TERHADAP PERPINDAHAN PANAS PADA GAS TURBINE COOLING AIR COOLER

Siti Sofariyah¹, Adi Syuriadi², Sonki Prasetya³

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

shiso.sitisofariyah@gmail.com; adi.syuriadi@mesin.pnj.ac.id; sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

Alat penukar kalor adalah komponen penting dalam industri pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), Salah satu contoh pada PLTGU X terdapat pendingin turbin (TCA cooler) dan pemanas bahan bakar gas. Keduanya merupakan alat penukar kalor dengan tipe aliran silang yang tersusun menjadi satu bagian dan menggunakan udara ambient sebagai media pendinginnya. Prinsip kerjanya adalah fan akan mengalirkan udara ambient menuju TCA Cooler untuk mendinginkan udara panas dengan temperatur 400 – 467.3 °C dari keluar dari kompresor pada bagian terakhir yang selanjutnya digunakan sebagai pendingin pada sudu – sudu turbin. Udara ambient yang keluar dari TCA Cooler masih berada pada temperatur 200 – 250 °C, kemudian akan dimanfaatkan oleh pemanas bahan bakar gas untuk menaikkan temperatur gas sebelum masuk ruang bakar, hal ini dilakukan agar proses pembakaran menjadi lebih cepat dan meningkatkan efisiensi termal pada turbin gas. Perubahan temperatur ambient sangat berpengaruh terhadap kinerja dari alat penukar kalor tersebut. Oleh karena itu perlu adanya analisis perhitungan efektifitas dan laju perpindahan panas dengan metode Number Thermal of Unit (NTU) – efektifitas dan metode Log Mean Differential Temperatur (LMTD).

Kata kunci : pendingin sudu turbin, temperatur ambien, efektivitas, laju perpindahan panas.

Abstract

Heat exchanger is an important component in the Gas Turbine Power Plant (GTPP) industry, such as Turbine Cooling Air (TCA) Cooler and Fuel Gas Heater. They are heat exchanger with cross flow type arranged into one part and used the ambient air as a cooling medium. The principle that the fan will draft the ambient air to the TCA Cooler to cool the hot air with a temperature of 400 - 467.3 °C from the last stage compressor discharge is used as a coolant on the turbine blades. The ambient air which came out from the TCA Cooler was have a temperature range 200 - 250 °C , then it would be utilized by the fuel gas heater to heat the fuel gas before entered to the combustion chamber, then, combustion process is worked perfectly and it would be increased the thermal efficiency in the gas turbine. Changes in ambient temperature greatly affected to the performance of the heat exchanger. Therefore it is necessary to calculate the effectiveness and rate of heat transfer with the method of Thermal of Unit - effectiveness and Log Mean Differential Temperature (LMTD) method.

Keyword : turbine cooling air cooler, ambient temperature, effectiveness of heat transfer, Energy of heat transfer

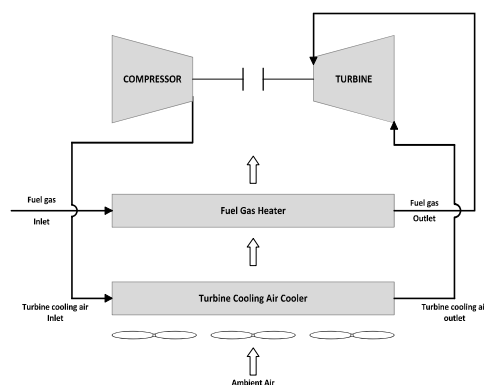
Nomenklatur

T_{fh}	=	temperatur referensi fluida panas [°C]
T_{hi}	=	temperatur fluida masuk panas [°C]
T_{ho}	=	temperatur fluida keluar panas [°C]
C_{ph}	=	Koefisien fluida panas [J/kg K]
\dot{m}_h	=	laju massa fluida panas [kg/s]
\dot{m}_c	=	laju massa fluida pendingin [kg/s]
T_{ci}	=	temperatur fluida masuk dingin [°C]
T_{co}	=	temperatur fluida keluar dingin [°C]
C_{pc}	=	Koefisien fluida dingin [J/kg K]
Ch	=	Kapasitas Panas fluida panas [W/K]
Cc	=	Kapasitas Panas fluida dingin [W/K]
q_{max}	=	laju perpindahan panas maksimal [W]
U	=	overall heat transfer coefficient [W/m ² K]
LMTD	=	Log Mean Temperatur Differential [°C]
A	=	luas perpindahan panas [m ²]
F	=	faktor koreksi
Q	=	laju perpindahan panas [W]
NTU	=	Number of thermal Unit
ε	=	Efektifitas [%]

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Turbin gas merupakan salah satu komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG) dan berfungsi mengkonversi energi panas berupa gas hasil pembakaran menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran pada sudu – sudu turbin.[1] Turbin gas bekerja dengan temperatur yang cukup tinggi dan dalam waktu yang cukup lama. Sehingga perlu adanya suatu sistem pendinginan yang efektif agar sudu turbin tidak overheating.[2] Pada PLTGU X sistem pendinginan sudu turbin menggunakan alat penukar kalor (*heat exchanger*) tipe *compact* dengan aliran menyilang (*cross flow*). Prinsip kerjanya adalah udara *bypass* dari *discharge* kompresor dialirkan menuju *turbine cooling air (TCA) cooler* untuk didinginkan terlebih dahulu oleh udara *ambient* dengan bantuan kipas, kemudian *outlet* dari *TCA cooler* akan masuk ke *rotor cooling air* sebagai pendingin sudu – sudu turbin, setelah itu hasil mendinginkan *TCA cooler*, udara *ambient* kembali dimanfaatkan untuk memanaskan *fuel gas heater*, untuk menaikkan temperatur bahan bakar gas untuk proses pembakaran.[3]



Gambar 1. Skema *Turbine Cooling Air* dan *fuel gas heater*

I.2. Tujuan Penelitian

Menganalisis pengaruh temperatur *ambient* terhadap kinerja *Turbine Cooling Air Cooler* dan mengevaluasi nilai efektivitas *Turbine Cooling Air Cooler* saat ini, apakah masih dalam kondisi yang optimal atau tidak.

II. METODE PENELITIAN

II.1 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan pada tanggal 1 Agustus s/d 31 Agustus 2017. Dengan menetapkan variable terikatnya adalah temperatur *ambient* masuk *heat exchanger* pada beban 190 MW – 197 MW. Beberapa parameter untuk menghitung efektifitas perpindahan panas pada *turbine cooling air cooler* antara lain temperatur *dischanger* kompresor, temperatur *inlet* rotor cooling air sebagai *outlet* daripada *turbine cooling air cooler* dan data spesifikasi TCA cooler. [4]

II.2 Kalkulasi pada *Turbine Cooling Air Cooler*

i. Perhitungan Koefisien Fluida Panas

Koefisien fluida panas (Cph) diketahui dengan cara menghitung temperatur referensi fluida panas. [5] Kemudian mencari nilainya pada tabel *properties of dry air at atmosphere pressure* [6]

$$T_{fh} = \frac{T_{h\ in} + T_{h\ out}}{2} \dots\dots (2.1)$$

ii. Perhitungan Laju Perpindahan Panas

Menghitung laju aliran massa fluida panas (mh), dengan menggunakan persamaan $Q_{desain} = Q_h$ [7] dan kapasitas panas fluida panas (Cph) yang diketahui dari tabel *properties of dry air at atmosphere pressure*

$$mh = \frac{Q_{desain}}{C_p \times (T_{hi} - T_{ho})} \dots\dots (2.2)$$

iii. Perhitungan Temperatur Fluida Dingin Keluar Dari Alat Penukar Panas

Menentukan temperatur fluida dingin keluar penukar panas (Tco) dengan menggunakan nilai laju perpindahan panas yang diasumsikan $q = q_h = q_c$ [7] yang telah dihitung :

$$T_{co} = T_{ci} + \frac{Q_h}{\dot{m}_c \times C_{pc}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Selanjutnya Menentukan nilai Cmin dan Cmax [8]

$$C_h = \dot{m}_h \times C_{ph} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$C_c = \dot{m}_c \times C_{pc} \dots\dots\dots(2.5)$$

Jika, $C_h < C_c$, maka $C_{min} = C_h$

$C_c > C_h$, maka $C_{max} = C_c$

Cmin akan digunakan untuk menentukan niali q max pada *heat exchanger*. [8]

$$q_{max} = C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci}) \dots\dots (2.6)$$

iv. Metode Log Mean Temperature Differential

Setelah mengetahui temperatur *inlet* dan *outlet* untuk fluida panas dan fluida dingin, maka langkah selanjutnya adalah menentukan *Log Mean Temperature Differential* [9]

$$LMTD = \frac{(Thi - Tco) - (Tho - Tci)}{\ln\left[\frac{(Thi - Tco)}{(Tho - Tci)}\right]} \quad \dots (2.7)$$

Kemudian menentukan nilai perpindahan panas total [9]

$$U = \frac{q \max}{A \times F \times LMTD} \quad \dots (2.8)$$

Perhitungan Efektivitas

Untuk menentukan nilai efektivitas terlebih dahulu menghitung nilai dari *Number of Thermal Unit* [9]

$$NTU = \frac{U \times A}{Cmin} \quad \dots (2.9)$$

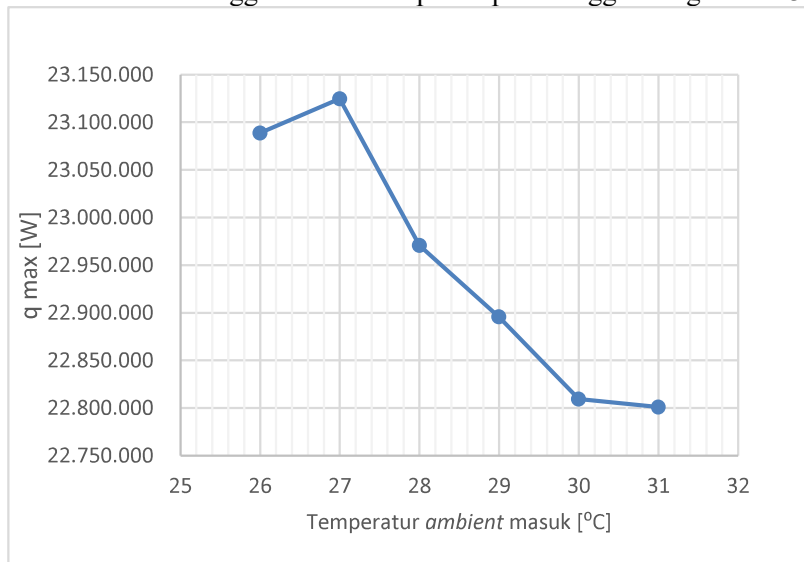
Setelah menentukan NTU maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai efektivitas [9]

$$e = 1 - \exp\left[-\left(1 - \exp(-NC)\right)/C\right] \quad \dots (2.10)$$

Dimana $C = \frac{Cmin}{Cmax}$

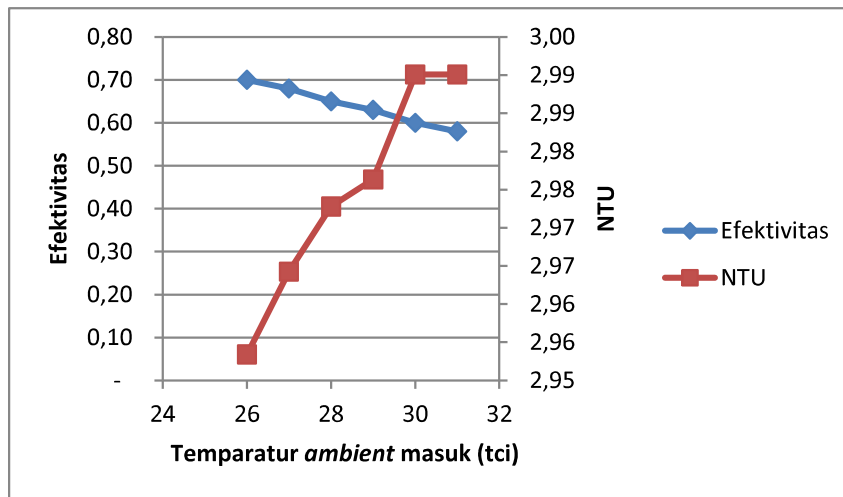
III. ANALISA DAN HASIL PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil pembahasan dari kalkulasi pada *Turbine Cooling Air Cooler*. Penelitian dilakukan pada PLTGU X dan menggunakan data operasi pada tanggal 1 Agustus – 31 Agustus 2017.



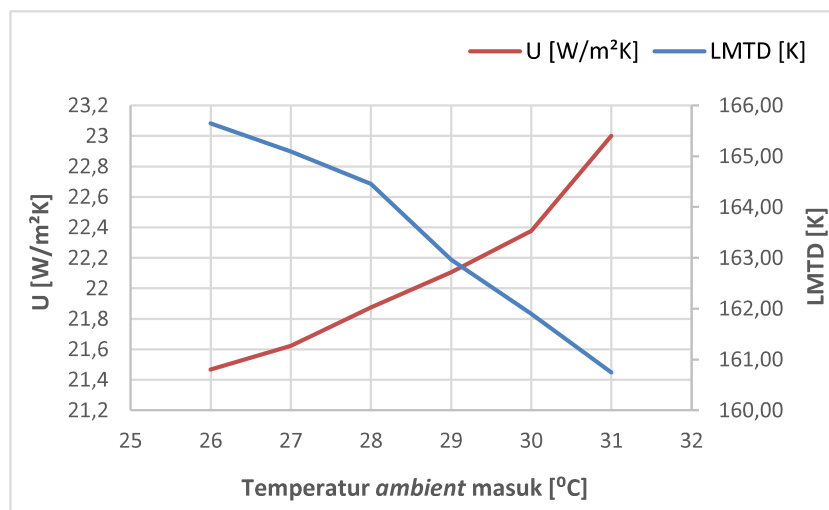
Grafik 1. Pengaruh variasi Temperatur *ambient* masuk (*Tci*) terhadap laju perpindahan panas pada *Turbine Cooling Air cooler*

Mula – mula Laju perpindahan panas mengalami kenaikan di temperature 26 [°C], namun setelah itu terjadi penurunan tiap kenaikan 1 °C, hal ini disebabkan ketika kondisi lingkungan berada pada temperatur yang rendah secara otomatis udara yang dihisap kompresor juga berada pada temperatur yang rendah, sehingga udara panas dari *discharge* kompresor pun menjadi lebih rendah temperaturnya. Nilai laju perpindahan panas tertinggi saat temperatur *ambient* masuk TCA cooler mencapai 27°C yakni 23.100 kW dan terendah ketika temperatur mencapai 31 °C.



Grafik 2. Pengaruh variasi Temperatur *ambient* masuk (Tci) terhadap NTU dan efektifitas pada TCA Cooler

Pada grafik digambarkan bahwa ada keterkaitan antara perubahan nilai temoeratur dengan NTU dan efektifitas. Sebab nilai fluida pendingin yang lebih kecil akan meningkatkan laju perpindahan panas, itu berarti panas yang dipindahkan menjadi lebih banyak, dan TCA cooler pun jadi lebih efektif.



Grafik 3. Pengaruh variasi temperatur *ambient* masuk terhadap nilai koefisien perpindahan panas dan

Adanya variasi temperatur *ambient* masuk TCA cooler membuat nilai *Log Mean Temperature* meningkat untuk tiap 1°C, namun nilai koefisien turun, sebab berbanding terbalik dengan hasil LMTD yang didapatkan.

IV. PENUTUP

Kesimpulan dari hasil perhitungan adalah :

- 1 Laju Perpindahan Panas terbesar dihasilkan sebesar 23.100 kW dengan *Number Of Transfer Unit* (NTU) sebesar 2.99 dengan temperatur udara *ambient* sekitar 27 °C dan Laju Perpindahan Panas terkecil dihasilkan sebesar 22.800 kW dengan *Number Of Transfer Unit* (NTU) sebesar. Dengan temperatur udara *ambient* sebesar 31 °C.
- 2 Efektivitas terbesar padaturbine *cooling air cooler* sebesar 70% dan dihasilkan efektivitas terkecil sebesar 58%.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] UDIKLAT. 2007. *Dasar Operasi PLTGU*. PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Suralaya
- [2] Dietzel, Fritz. 1980. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Penerbit Erlanga. Jakarta
- [3] UDIKLAT. 2007. *Alat Bantu pada PLTGU*. PT PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan. Suralaya
- [4] Indonesia Power. 2004. *PT PLN (Persero) Cilegon Combine Cycle Power Plant (740 MW) Design Manual*. Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.
- [5] Sumarno, Gatot F. 2014. *Analisis Perpindahan Panas Pada Gas Turbine Closed Cooling Water Heat Exchanger Di Sektor PLTGU Cilegon*. Jurnal Teknik Energi Vol. 10, No.3. Politeknik Negeri Semarang.
- [6] Serth, Robert W. 2007. *Process Heat Transfer Principles and Applications*. Oxford UK : Elsevier.
- [7] Kroger, Detlev G. 2004. *Air Cooled Heat Exchanger and Cooling Tower*.
- [8] Yunus, A. Cengel. 2003. *Heat and Mass Transfer. A Practical Approach*, 2nd, New York : Mc.Graw-Hill.
- [9] Holman, J.P. 1994. *Perpindahan Kalor*. E. Jasjfi. Jakarta : Erlangga

ANALISIS PENGARUH *TURBINE WASHING* TERHADAP PERFORMA TURBIN UAP DAN DAYA PEMBANGKITAN

Masrurroh Anggeraini¹; Cecep Slamet Abadi²; Deby Mardiansah³

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

masrurroha97@gmail.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki komponen utama yaitu turbin uap. Penurunan performa turbin akan mempengaruhi keandalan pembangkit dan daya pembangkitan, sehingga pembangkit tidak mampu memenuhi DMN (Daya Mampu Netto) yang disetujui atau disebut de-rating. Penurunan performa turbin, salah satunya disebabkan kandungan pada uap utama seperti H₂S, CO₂, NH₃, CH₄, H₂, N₂, He, Ar, dan Ne tidak dapat tersaring oleh demister maupun separator, sehingga terjadinya fouling pada turbin dan menurunkan daya pembangkitan. Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin akibat fouling diantaranya dengan melakukan water wash pada turbin atau turbine washing system. Turbine washing system adalah pencucian turbin khususnya pada blade-blade untuk menjaga performa dan mengurangi fouling.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas pengaruh penggunaan turbine washing terhadap performa turbin uap dan daya yang dihasilkan generator selama bulan maret. Analisa pada penelitian ini menggunakan metode heat balance, standar perhitungan ASME PTC 6, CEI/IEC 953-1, CEI/IEC 60953-3 dan aplikasi X Steam Table. Metode heat balance digunakan untuk mencari parameter fluida dan steam setiap bagian berdasarkan kesetimbangan massa uap dan energi dalam "entalpi".

Pada penelitian ini didapatkan adanya penurunan tekanan steam chest sekitar 0,025-0,05 [barg] perjam gauge dapat menaikkan beban sekitar 0,1 – 0,6 [MW] perjam. Selain itu, laju aliran uap akan berkurang dengan bukaan governor valve pada posisi bukaan sama sebelum dan sesudah turbine washing. Hal ini dikarenakannya belum maksimalnya pelaksanaan turbine washing pada bulan maret yang dilakukan selama 5 hari. Namun, lamanya penggunaan turbin washing akan berefek mengikis bagian turbin karena air yang digunakan adalah air kondensasi yang tidak di treatment sebab demin plant rusak. Tolak ukur keberhasilan turbine washing system dapat dilihat dari tekanan steam chest, daya pembangkitan dan bukaan governor valve. Jika sampai waktu 2 minggu tekanan steam chest dan flow tidak ada perubahan maka proses ini akan di hentikan. Dan apabila diteruskan dengan waktu yang lama, akan terjadi pengikisan pada sudu – sudu turbin.

Kata kunci: De-rating, Performa Turbin Uap, Turbine Washing, Daya Pembangkitan.

Abstract

One of the main component's in Geothermal Power Plant steam turbine and therefore a decreased of turbine's performance will effect reliability of the plant to generate power, so plant won't be able reach requested NMC (Net Maximum Capacity) or to be called "de-rating". Decreased turbine performance cause by the main steam content such as H₂S, CO₂, NH₃, CH₄, H₂, N₂, He, Ar, and Ne, that can't be filtered through demister dan separator, for that reason a fouling would be occured in turbine and automatically it will generate less power. Due to effect of the fouling, a process called Turbine Washing System is needed to improve performance of whole power plant. Turbine washing system is mainly needed just to wash the turbine's blades keep performace at their best level.

The reseacrh is written to analyze how effective turbine washing system to steam turbine's performance and the power has been generated in whole month of march. This analysis is made by using heat balance method, ASME PTC 6, CEI/IEC 953-1, CEI/IEC 60953-3 and X Steam Table Application. Heat balance method used to find the fluid and steam parameters of each part based on equilibrium of vapor and energy massses in "enthalpy".

The result of research, there was decrease in steam chest pressure of 0,025 – 0,05 [barg] perhour and increase load 0,1 – 0,6 [MW] perhour. In addition steam flow rate will decrease with opening of governor valve at the same opening position before and after the turbine washing. This caused by unmaximized treatment and implication of turbine washing that planned on March for 5 days. Futhermore, use turbine washing will have an effect eroding turbine parts, because water that has been used in this system is untreated condensation water due demaged demin plant. Achievement of turbine washing system can be measured by pressure of steam chest, power generation and openings of governor valve. If there is no difference or changes in steam chest's pressure and flow up to 2 weeks, then this process will be stopped. And if it continous with a longer period of times, there will be erosion on turbines blades.

Keywords: De-rating, Turbine Performance, Turbine Washing, Power Generation.

NOMENCLATURE

PLTP	Pembangkit Listrik Panas Bumi	DMN	Daya Mampu Netto
h_1	Entalpi yang akan masuk turbin [kJ/kg]	W_{aktual}	Daya yang dihasilkan turbin secara aktual
h_2	Entalpi yang akan keluar turbin [kJ/kg]	THR	<i>Turbine Heat Rate</i> [kJ/kWh]
h_{2S}	Entalpi yang akan keluar turbin (aktual) [kJ/kg]	WT	Kerja Turbin [kW]
\dot{m}	Laju Aliran Massa Uap [kg/s]	SR	<i>Steam Rate</i> [kg/kW]
CEI/IEC	<i>Commission Electrotechnique Internationale / International Electrotechnical Commission</i>	Generator _{out}	Energi listrik yang dihasilkan generator [MWh]
ASME	<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>	atau P_{gen}	
η	Efisiensi [%]	TWS	<i>Turbine Washing System</i>

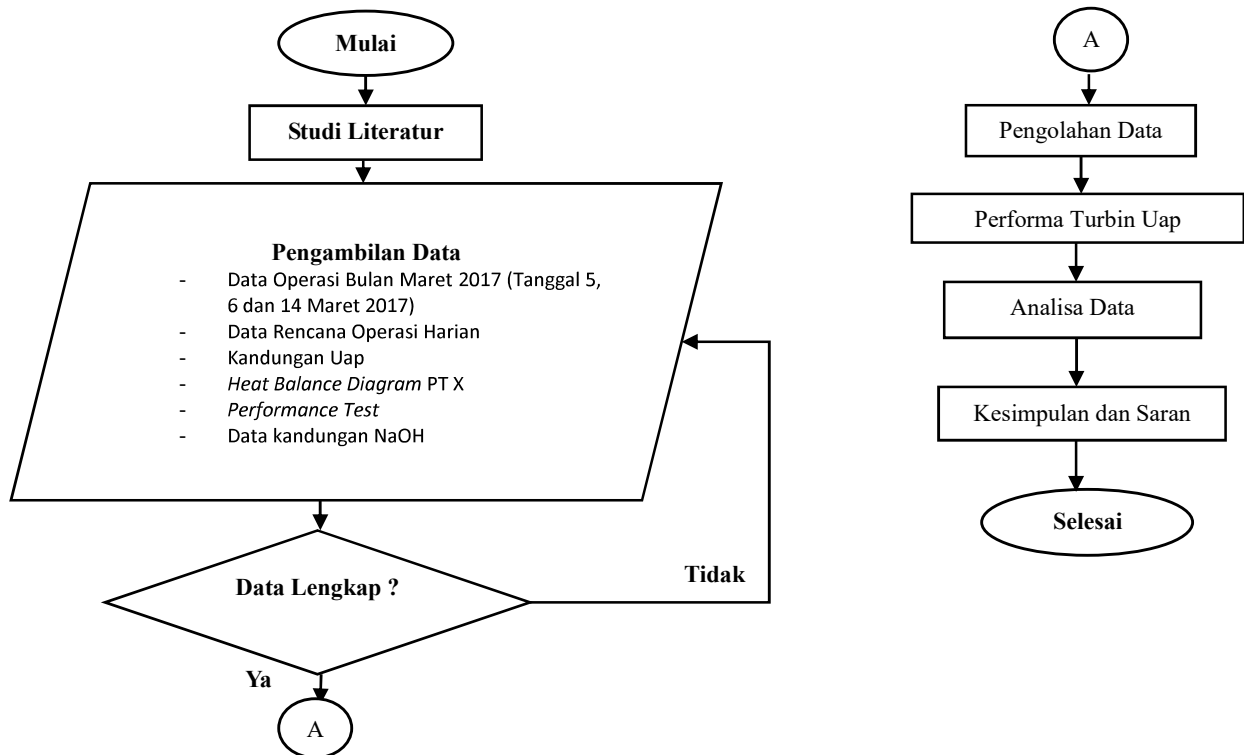
I. PENDAHULUAN

I.1 Latar belakang

Turbin uap merupakan peralatan utama PLTP yang berperan penting sebagai penggerak mula (*prime mover*) untuk mengubah energi panas dalam uap menjadi energi mekanis berupa putaran poros turbin. Selanjutnya poros turbin di kopel dengan poros generator untuk menghasilkan energi listrik [1]. Keandalan turbin uap dapat dilihat dari kinerja turbin uap. Performa turbin uap memiliki parameter efisiensi termal, efisiensi isentropik turbin, *turbine heat rate*, dan *steam rate* [2, 3]. Namun, seiring lamanya jam operasi, kinerja turbin uap mengalami penurunan [4]. Penurunan performa turbin akan mempengaruhi keandalan pembangkit dan daya yang dihasilkan generator [5]. Pada tahun 2017, terjadi beberapa kali penurunan daya yang dihasilkan oleh Unit 2 di PT X, khususnya pada bulan maret. Unit 2 di PT X tidak mampu memenuhi DMN yang disetujui, sehingga terjadi *de-rating*. *De-rating* merupakan kondisi dimana daya keluaran [MW] kurang dari DMN-nya. *De-rating* ini dimulai ketika pembangkit tidak mampu mencapai 98% DMN dari 30 menit [6]. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan daya yang dihasilkan generator. Penurunan performa turbin disebabkan oleh tidak optimalnya peralatan sebelum turbin yaitu separator dan demister, suhu lingkungan, suhu air pendinginan, kevakuman kondenser, keoptimalan sudu-sudu turbin dalam menyerap panas, dan kandungan kimia pada uap. Kandungan kimia pada uap utama seperti H₂S, CO₂, NH₃, CH₄, H₂, N₂, He, Ar, dan Ne tidak tersaring oleh demister maupun separator, sehingga terjadinya *fouling* pada turbin [7]. Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi *fouling* dan meningkatkan performa turbin dan daya pembangkitan yaitu melakukan *coating* pada sudu-sudu turbin, *water washing* pada turbin dan meningkatkan performa *cooling tower* untuk memperkecil suhu air pendingin. Salah satu upaya yang dilakukan adalah melakukan *water wash* pada turbin. *Water wash* atau *turbine washing* merupakan pencucian turbin khususnya pada *sudu-sudu* untuk menjaga performa dan mengurangi *fouling* [5]. Berdasarkan permasalahan tersebut akan dilakukan analisis pengaruh *turbine washing* terhadap performa turbin uap dan daya yang dihasilkan generator yang bertujuan untuk mengetahui efektivitas penggunaan *turbine washing*.

II. METODE PENELITIAN

II.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

II.2 Studi Literatur

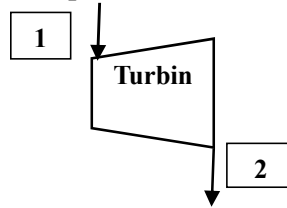
A. Turbine Washing System

Turbine washing system merupakan salah satu alternatif untuk penghilangan silika yang menempel pada bagian turbin. *Turbine washing* atau *water wash* adalah pencucian turbin khususnya sudu-sudu pada turbin. Untuk menjaga performa turbin dan mengurangi tingkat penambahan silika yang menempel pada sudu-sudu turbin [8]. *Turbine washing* berkerja dengan memanfaatkan air bertekanan lebih tinggi dari tekanan uap utama yang masuk ke dalam turbin. Tekanan yang digunakan didalam *turbine washing* adalah 8,7 [bar] sedangkan tekanan uap 6,5 [bar]. Sehingga air yang digunakan didalam *turbine washing* tidak akan tertekan keluar, dikarenakan tekanannya lebih tinggi daripada tekanan uap utama masuk turbin. *Turbine washing system* diharapkan mendapatkan *demineralizer water*. *Demineralizer water* adalah air yang kadar garam dan mineralnya dihilangkan melalui beberapa proses filtrasi agar agar saat digunakan tidak merusak komponen-komponen logam pada turbin. Tujuan dilakukannya air bersih menjadi *aqua demineralized water* dengan debit 10 [m³/jam], atau hanya digunakan 2% dari uap utama yaitu sebesar 4 [ton/jam] dikarenakan jika berlebih akan menyebabkan erosi. Proses demineralisasi terjadi didalam 2 tabung penukar ion (*ion exchange tank*) yang berisikan ion positif (kation resin) dan resin penukar ion negatif (anion resin). Pada *manual book turbine washing* terdapat 2 proses yaitu pengolahan dan regenerasi. Proses Pengolahan digunakan ion-ion kation dan anion yang berfungsi untuk mendemineralisasikan air. Sedangkan proses regenerasi adalah proses pertukaran timbal balik antara ion yang terdapat di dalam air dengan ion yang ada pada resin dan berfungsi untuk meningkatkan kualitas resin sehingga mampu digunakan untuk mengikat ion-ion kation dan anion [9].

B. Hukum Bernoulli

Dalam mengetahui *de-rating* pada turbin dapat dilihat dari tekanan pada *steam chest*. Tekanan semakin tinggi maka kinerja yang dihasilkan turbin menurun, sesuai dengan hukum bernoulli. Persamaan yang telah dihasilkan oleh Bernoulli tersebut juga dapat disebut sebagai Hukum Bernoulli, yakni suatu hukum yang dapat digunakan untuk menjelaskan gejala yang berhubungan dengan gerakan zat alir melalui suatu penampang pipa. Sehingga, prinsip Bernoulli menyatakan bahwa di mana kecepatan aliran fluida tinggi, tekanan fluida tersebut menjadi rendah. Sebaliknya jika kecepatan aliran fluida rendah, tekanannya menjadi tinggi. Persamaan dinyatakan dalam Hukum Bernoulli tersebut melibatkan hubungan berbagai besaran fisis dalam fluida, yakni kecepatan aliran yang memiliki satu garis arus, tinggi permukaan air yang mengalir, dan tekanannya. Angin (udara) akan mengalir dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah. Saat berada di tempat yang semakin tinggi, maka semakin sulit memperoleh udara [13].

C. Perhitungan Efisiensi Termal Turbin Uap



Gambar 2. Heat Balance Turbine

Efisiensi adalah salah satu istilah yang sering digunakan dalam termodinamika, dan menunjukkan seberapa baik konversi energi yang dilakukan peralatan. Efisiensi termal turbin dapat dihitung dengan standar CEI/IEC 953-1 [2] :

$$\eta_{\text{Termal}} = \frac{P_{\text{Generator}}}{WT_{\text{aktual}}} \times 100\% \quad [\text{Persamaan 2}]$$

D. Perhitungan Efisiensi Isentropik Turbin

Efisiensi isentropik turbin atau yang lebih dikenal sebagai efisiensi termodinamika turbin uap merupakan sebagai parameter terukur dari besarnya ekspansi uap dalam hal penurunan entalpi aktual dibandingkan dengan entalpi ideal. Sehingga keberhasilan turbin dapat dilihat dari entalpi aktual dan entalpi idealnya. Efisiensi isentropik turbin dapat dihitung dengan standar CEI/IEC 60953-3 [10] :

$$\eta_{\text{isentropik}} = \frac{WT_{\text{aktual}}}{WT_{\text{isentropik}}} \times 100\% \quad [\text{Persamaan 3}]$$

E. Perhitungan Steam Rate

Steam rate merupakan kuantitas uap yang diperlukan untuk membangkitkan setiap kilowatt jam [kWh] listrik dengan membandingkan rasio laju aliran uap terhadap daya output [2].

$$SR = \frac{\text{main steam flowrate}}{\text{turbine-generator output}} \quad [\text{Persamaan 4}]$$

$$SR = \frac{m}{P_{\text{generator}}} \quad [\text{Persamaan 5}]$$

F. Perhitungan Turbine Heat Rate

Turbine heat rate adalah jumlah kalor yang dibutuhkan untuk memproduksi listrik sebesar 1 [KWh], dan dinyatakan dalam [kJ/kWh]. Turbine heat rate menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik nett yang dihasilkan oleh generator [4]. Turbine heat rate dapat dihitung dengan persamaan ASME PTC 6, 2004 [3] :

$$THR = \frac{\text{Net Heat Rate to the cycle}}{\text{Output}} \quad [\text{Persamaan 6}]$$

Atau dihitung dengan persamaan CEI/IEC 953-1 [2] :

$$THR = \frac{3600}{\eta_{\text{thermal}}} \text{ [kJ/kW.h]} \quad [\text{Persamaan 7}]$$

G. Perhitungan Efisiensi Generator

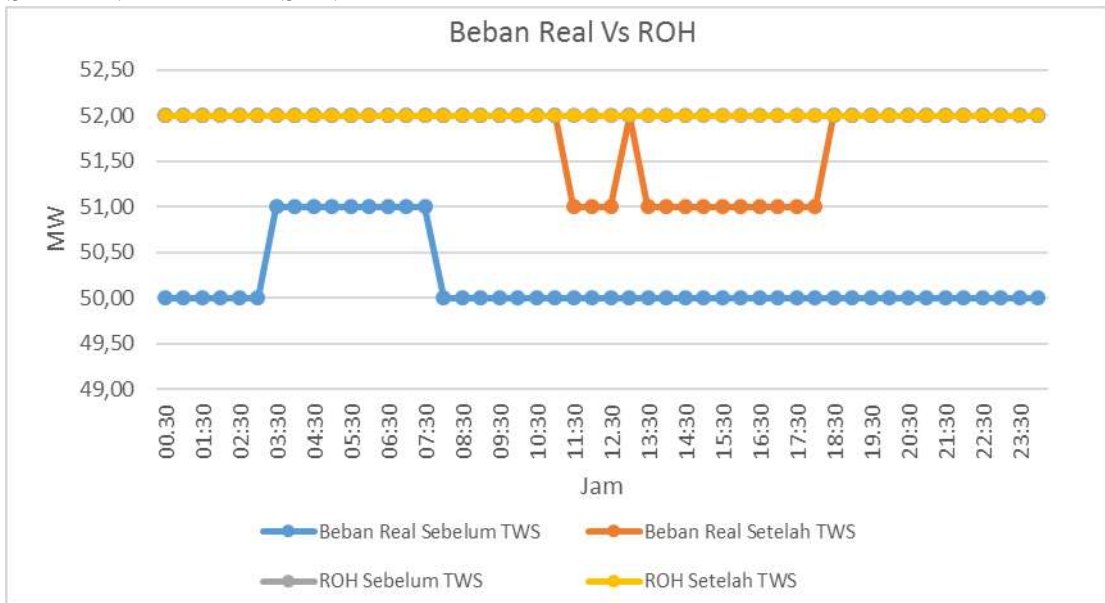
Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Untuk menghitung efisiensi generator adalah dengan membandingkan daya keluaran generator dan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan turbin, seperti persamaan dibawah ini [11] :

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{\text{Beban}}{WT_{\text{aktual}}} \times 100\% \quad [\text{Persamaan 8}]$$

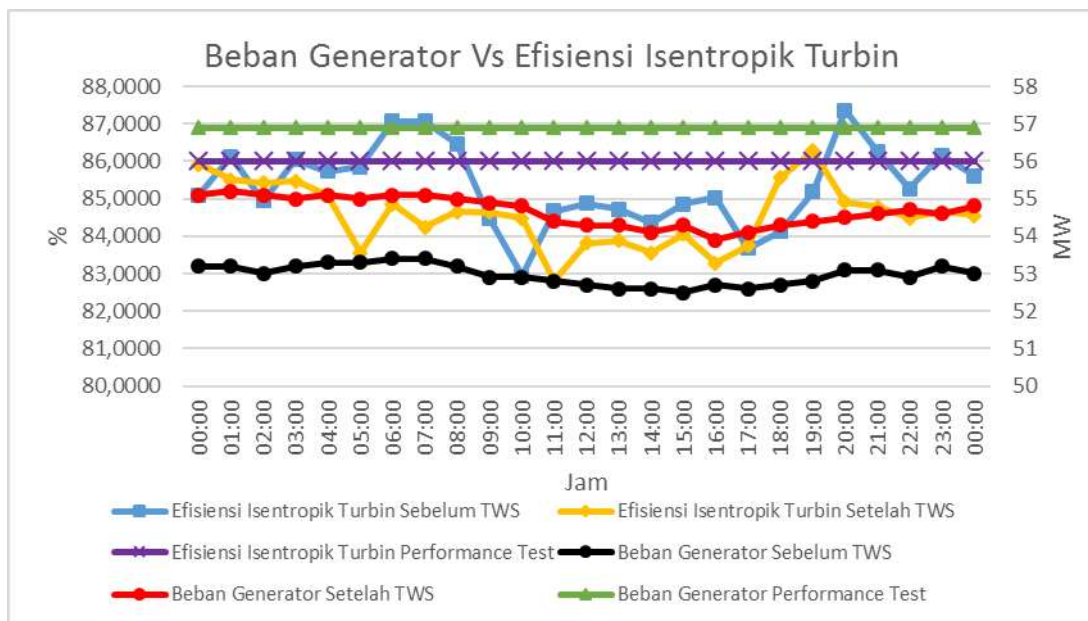
Pada pembangkit X generator telah dilakukan test report sehingga efisiensinya adalah 0,98 [12]. Untuk mencari daya aktual yang dihasilkan oleh turbin dilakukan dengan mengalihkan energi yang dihasilkan turbin dengan efisiensi turbin. Atau dengan perbandingan daya yang dihasilkan generator dengan efisiensi generator. Sehingga, untuk mencari WT_{aktual} , menggunakan persamaan dibawah ini :

$$WT_{\text{aktual}} = \frac{P_{\text{generator}}}{\eta_{\text{generator}}} \quad [\text{Persamaan 9}]$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 3. Grafik Perbandingan Beban *Real* Dengan Rencana Operasi Harian (ROH) Unit 2

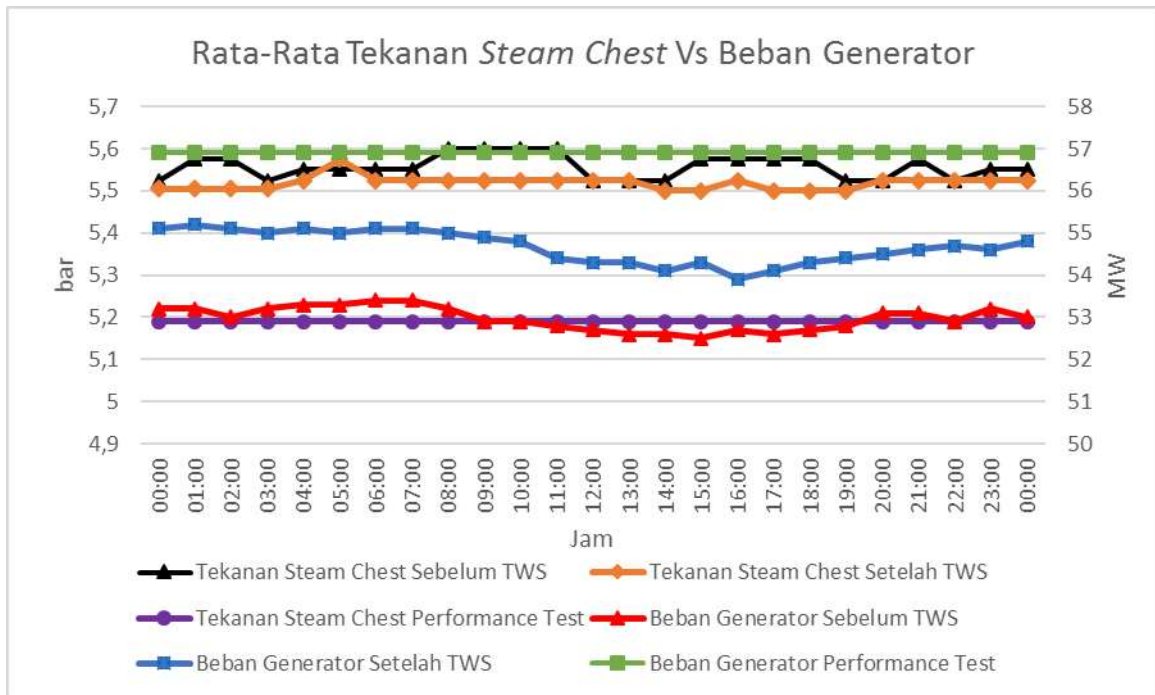


Gambar 4. Grafik Perbandingan Beban Generator (Daya Generator) dengan Efisiensi Isentropik turbin

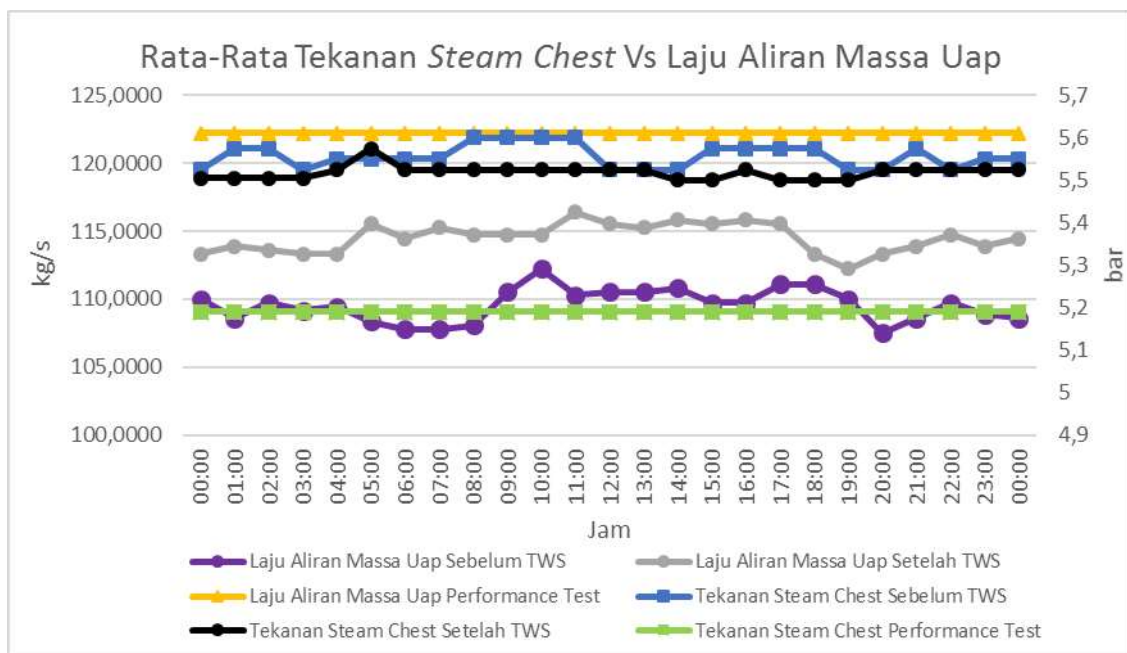
Beban *Real* adalah daya yang diberikan ke P2B merupakan beban netto atau beban bersih yang sudah dikurangi dengan pemakaian sendiri. Pada Unit 2 PT X, menyalurkan beban *real* ke P2B sesuai dengan ROH (Rencana Operasi Harian) yang telah disepakati P2B dan Pembangkitan. ROH ini dibuat berdasarkan DMN (Daya Mampu Netto) dari Unit Pembangkitan yaitu 52 [MW], dikarenakan unit pembangkitan membutuhkan listrik pemakaian sendiri yaitu $\pm 2-3$ [MW] yang digunakan untuk dapat menggerakkan motor-motor dan peralatan listrik lainnya.

Berdasarkan gambar 3, pada tanggal 5 Maret 2017 unit 2 PT X terjadi penurunan beban *real* yang tidak sesuai dengan 98% DMN selama 30 menit, sehingga tidak tercapainya ROH dan perusahaan mengalami kerugian. Beban *real* yang diberikan ke P2B merupakan pengurangan beban *base load* (55 [MW]) dengan beban pemakaian sendiri (2-3 [MW]). Turunnya beban *real* mempunyai berbagai macam faktor, salah satunya adalah performa turbin uap. Performa turbin uap dapat dilihat dari *turbine heat rate*, *steam rate*, efisiensi termal, dan efisiensi isentropik turbin uap. Berdasarkan gambar 4, penurunan beban generator berbanding lurus dengan efisiensi isentropik turbin. Penurunan beban generator akan mempengaruhi beban *real* yang akan disalurkan ke P2B, sehingga diperlukan peninjauan lebih pada parameter-parameter yang

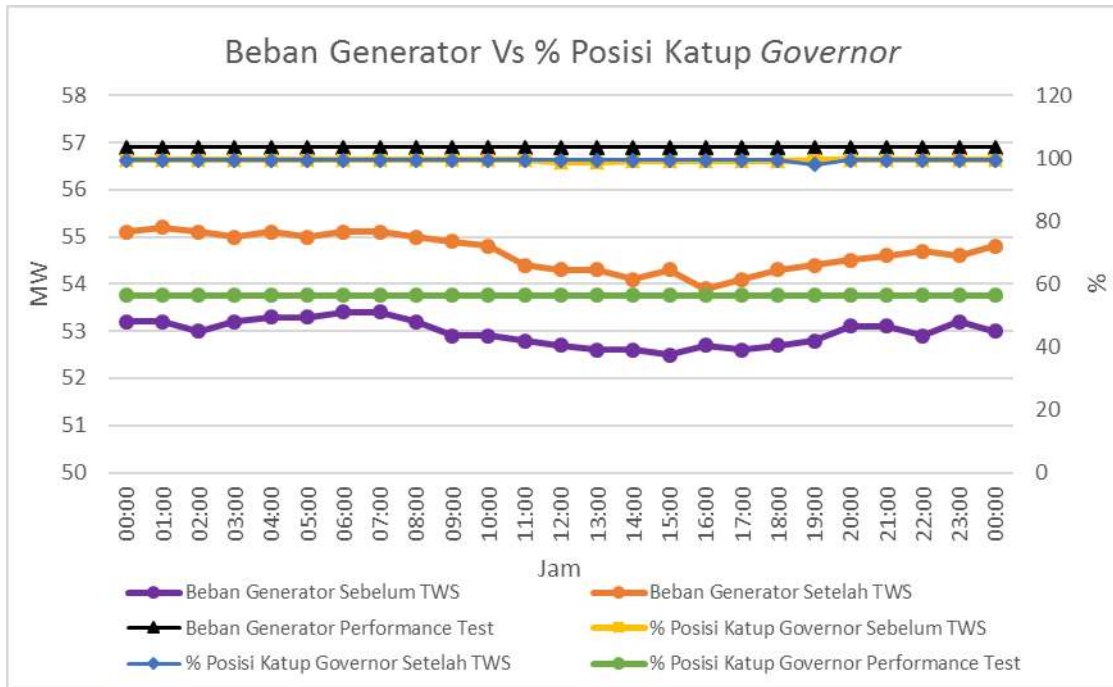
menunjang efisiensi isentropik turbin. Beberapa parameter yang membutuhkan peninjauan lebih yaitu tekanan uap pada *steam chest*, dan laju aliran massa uap yang akan masuk turbin karena hal tersebut merupakan yang paling signifikan menyebabkan turunnya daya pembangkitan pada tanggal 5 Maret 2017. Indikasi parameter yang paling terlihat pada rata-rata tekanan *steam chest* yang meningkat yaitu 0,033 [bar] dari *performance test* terakhir. Peningkatan rata-rata tekanan *steam chest* ditunjukkan pada gambar 5, mengindikasikan daya yang dihasilkan generator mengalami penurunan. Peningkatan rata-rata tekanan *steam chest* dikarenakan terjadinya penyumbatan akibat menempelnya kerak-kerak dan menyebabkan laju aliran massa uap akan makin menyempit sehingga mengganggu proses *rotarry* turbin itu sendiri serta menurunnya daya yang dihasilkan generator, hal ini ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Rata-Rata Tekanan *Steam Chest* dengan Beban Generator (Daya Pembangkitan)



Gambar 6. Grafik Perbandingan Rata-Rata Tekanan *Steam Chest* Dengan Laju Aliran Massa Uap Sebelum Dan Sesudah *Turbine Washing*



Gambar 7. Grafik Perbandingan Beban Generator Dengan % Posisi Katup Governor Sebelum Dan Sesudah Turbine Washing

Berdasarkan gambar 6, sesuai dengan hukum bernoulli yang dimana dikatakan semakin tingginya tekanan maka akan semakin rendah laju aliran massa. Untuk menaikkan efisiensi isentropik turbin dan daya dihasilkan generator selain dari sisi tekanan juga dapat dilakukan dapat dari laju aliran massanya, yang dimana laju aliran massanya diperbesar dengan dilakukan rata-rata bukaan katup *governor* yang mencapai 99 – 99,5% tiap jamnya dan secara tidak langsung entalpi dan tekanan uap pun akan berubah seiring laju aliran massa dipersebesar. Tetapi rata-rata bukaan katup *governor* yang hampir mencapai batas maksimal tidak dapat menaikkan beban generator, hal ini ditunjukkan pada gambar 7. Sehingga diperlukan *treatment* atau pemecahan masalah untuk menaikkan beban yang dihasilkan generator dan efisiensi isentropik turbin sampai dilakukan *simple inspection*. *Simple inspection* dilakukan saat 2100 jam dari turbin dioperasikan setelah *performance test*. Jika pembangkit menunggu sampai dilakukannya *simple inspection*, pembangkitan akan mengalami penurunan daya dikarenakan akan turus menempelnya kerak-kerak pada *steam chest* dan akan terus mengalami kerugian. Oleh karena itu perlu dilakukan alternatif lain, salah satunya dengan melakukan *turbine washing system* (TWS). Parameter untuk dilakukannya *turbine washing sytem* adalah jika tekanan pada *steam chest* meningkat, laju aliran massa uap menurun, dan bukaan katup *governor* hampir mencapai bukaan maksimal yaitu 100%.

Pada tanggal 6 Maret 2017 jam 13:00 dilakukan *turbine washing system* dan selesai pada tanggal 10 Maret 2017 jam 13:35. Pengoperasian *turbine washing system* dengan menggunakan pompa 7,5 [HP] dan air condensat sebesar 2 [ton/jam]. Lamanya pengoperasian *turbine washing system* adalah berdasarkan beban yang dihasilkan generator meningkat dan rata-rata tekanan *steam chest* yang sudah mulai berkurang sedikit dari sebelum dilaksanakannya *turbin washing system* yaitu tanggal 5 Maret 2017.

Setelah dilakukan *turbine washing system*, pada tanggal 14 Maret 2017 terjadi kenaikan daya yang dihasilkan generator dan efisiensi isentropik turbin dapat dilihat pada gambar 4. Namun, ditinjau dari segi bukaan *governor valve* masih terbuka sama dengan sebelum dilaksanakannya *turbine washing system* pada tanggal 5 Maret yaitu 99 – 99,5%. Dan jika ditinjau ulang dari rata-rata tekanan *steam chest* hanya berkurang sekitar 0,02-0,075 bar perjamnya dari sebelum dilakukannya *turbine washing system*, sehingga pelaksanaan *turbine washing* seharusnya masih harus dilakukan untuk menurunkan bukaan *governor valve* hingga berada dibawah 90% dan tekanan *steam chest* berkisar 5,19 bar atau mendekati data *performance test*. Sehingga pelaksanaan *turbine washing* pada bulan maret tahun lalu kurang maksimal meski daya pembangkitan yang telah diinginkan tercapai. Dikarenakan tolak ukur keberhasilan *turbine washing* tidak hanya dilihat dari daya pembangkitannya saja, melainkan juga melihat dari bukaan *governor valve* dan *steam chest*. Namun, dengan dilaksanakannya *turbine washing system* dapat menurunkan tekanan *steam chest* sekitar 0,025 [bar] perjamnya akan menaikkan daya yang dihasilkan generator 1,2-2 [MW].

IV. KESIMPULAN

1. *Turbine washing system* dapat meningkatkan daya pembangkitan generator dari 53 [MW] menjadi 55 [MW] dalam kurun waktu 5 hari atau 96 jam dan dapat menurunkan tekanan *steam chest* 0,025-0,05 [bar] perjamnya. Oleh karena itu, TWS efektif dalam menanggulangi permasalahan *de-rating* akibat kenaikan tekanan *steam chest* tanpa perlu menunggu dilakukannya *simple inspection*.
2. Tolok ukur keberhasilan proses *turbine washing system* tidak hanya berdasarkan pada daya pembangkitan yang meningkat yaitu menjadi daya pembangkitan base load (55 [MW]). Melainkan pada bukaan *governor valve* (LH dan RH) yang menurun setelah dilaksanakannya *turbine washing* dan menurunnya tekanan *steam chest* turbin. Pada bulan maret 2017 setelah dilaksanakannya *turbine washing*, bukaan *governor valve* tetap tetapi tekanan *steam chest* menurun dan daya pembangkitan meningkat mendekati *base load*. Bukaan *governor valve* masih tetap dikarenakan belum maksimalnya dilakukan *turbine washing* dan membutuhkan waktu untuk dilaksanakannya *turbine washing* tetapi bisa dilakukan pada bulan selanjutnya, mengingat daya pembangkitan sudah terpenuhi kembali.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. S. Sianturi, "Studi Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Aplikasi PT. Musim Mas Kim II Medan," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2008.
- [2] Turkish Standards Insitution, *Rules For Steam Turbine Therma Acceptance Tests (Part 1 : Method A - High Accuracy For Large Condensing Steam Turbine)*, CEI/IEC 953-1, 1990.
- [3] The American Society of Mechanical Engineers, *Steam Turbine : Performance Test Code (PTC) 6 - 2004*, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2005.
- [4] L. H. Rambe dan S. T. Kasim, "Studi Keandalan Dan Ketersediaan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 2 PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Belawan," *Singuda Ensikom*, vol. 6, no. 3, Maret 2014.
- [5] F. D. Sanjaya dan F. H. Napitupulu, "Analisis Pengaruh Water Wash Terhadap Performasi Turbin Gas Pada PLTG Unit 7 Paya Pasir PT. PLN Sektor Pembangkitan Medan," *Jurnal e-Dinamis*, vol. 7, no. 03, pp. 175-183, 03 Desember 2013.
- [6] B. Setiawan, G. Hidayat dan S. D. Cahyono, "Analisis Pengaruh Compressor Washing Terhadap Efisiensi Kompresor Dan Efisiensi Thermal Turbin Gas Blok 1.1 PLTG UP Muara Tawar," *Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal)*, vol. 11, no. 1, pp. 49-54, Juni 2017.
- [7] N. Laksminepuri dan A. Martinus, "Studi Kandungan Dan Temperatur Gas Panas Bumi Kamojang Dengan Diagram Grid," *Beta Gamma tahun 2013*, vol. 4, no. 2, 2 Agustus 2013.
- [8] N. Caturwati, I. Rosyadi dan F. C., "Pengaruh Temperatur Lingkungan Terhadap Efisiensi Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP)," dalam *Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3*, Cilegon, 2011.
- [9] CV. Balqis, *Instruction Manual Of Unit Demin Plant PLTP Unit Kamojang Garut*, Bandung: CV. Balqis.
- [10] Turkish Standards Insitution, *Rules For Steam Turbine Therma Acceptance Tests (Part 3 : Thermal Performance Verification Tests Of Retrofitted Steam Turbines)*, CEI/IEC 60953-3, 2001.
- [11] D. Cahyadi dan Hermawan, "Analisa Perhitungan Efisiensi Turbine Generator QFSN-300-2-20B Unit 10 dan 20 PT. PJB UBJOM PLTU Rembang," 2015.
- [12] Mitsubishi Electric Corporation, "Test Report 68750 KVA Turbine Generator," Mitsubishi Electric Corporation, Nagasaki, 1986.
- [13] K. Abidin and S. Wagiani, "Studi Analisis Perbandingan Kecepatan Aliran Air Melalui Pipa Venturi Perbedaan Diameter Pipa," *Jurnal Dinamika*, vol. 4, no. 1, pp. 62-78, April 2013.

ANALISA HEAD LOSSES PADA CIRCULATING WATER PIPE LINE PLTGU PERAK GRATI

Muhammad Farras Ilham¹; Jusafwar²; Adi Syuriadi²

¹Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta

Jl. Prof. Dr. G.A Siwabessy, Kampus Baru UI Depok 16424

¹mfarrasilham29@gmail.com

Abstrak

Sekitar 21 tahun PLTGU Perak-Grati beroperasi. Dalam kurun waktu tersebut pipa circulating water mengalami kenaikan kerugian tinggi-tekan. Kenaikan tersebut dapat diakibatkan oleh perubahan kekasaran pipa, pengendapan material asing pada pipa, serta faktor lainnya. Kerugian tinggi-tekan menyebabkan air penyediaan ke dalam kondensor tidak memenuhi pipa-pipa pembuluh teratas di kondensor menyebabkan jumlah uap yang dapat dikondensasi menjadi air mengalami penurunan sehingga membutuhkan penambahan air kondensat. Akibat dari hal-hal tersebut adalah biaya produksi meningkat.

Tujuan penelitian ini menganalisa perubahan kenaikan kerugian tinggi-tekan dengan membandingkan data perencanaan awal PLTGU Perak Grati tahun 1997 dengan data aktual saat ini. Hasil perhitungan nantinya dapat memberikan rekomendasi terkait performa pompa sirkulasi air dan strategi pemeliharaan guna meningkatkan performa industri pembangkit di PLTGU Perak-Grati.

Metode penelitian yang digunakan dengan Persamaan Darcy-Weisbach. Mengasumsikan kondisi pompa sirkulasi air sama seperti saat kondisi awal. Hasil perbandingan saat awal design dan aktual menunjukkan terjadi kenaikan kerugian tinggi-tekan akibat korosi dalam pipa sehingga menyebabkan gesekan dalam pipa meningkat. Kerugian tinggi-tekan terdiri atas kerugian tinggi-tekan mayor dan minor. Kerugian tinggi-tekan mayor disebabkan karena kerugian gesek di dalam pipa-pipa dan kerugian tinggi-tekan minor disebabkan karena kerugian di dalam belokan-belokan, sambungan, katup dan sebagainya.

Kenaikan kerugian tinggi-tekan pipa penyaluran dari kanal air laut menuju masukan kondensor adalah 0,841 m. dimana kerugian tinggi-tekan saat awal perencanaan sebesar 0,666 m menjadi aktual saat ini 1,507 m dengan melakukan coating rubber dan cleaning pada pipa dapat menurunkan head loss sebesar 0,686 m

Kata kunci: Kerugian tinggi-tekan, Pipa sirkulasi air, Darcy-Weisbach, Korosi

Abstract

Approximately 21 years of PLTGU Perak-Grati operational. Within this period the circulating water pipes have increased head losses. The increase can be caused by changes in the roughness of pipes, the deposition of foreign materials in pipes, and other factors. Head losses cause the water supply to the condenser does not meet the top tubes in the condenser causing the amount of condensable vapor to water to decrease requiring additional water supply from make up water tanks. As a result of these things is the cost of production increases.

The purpose of this study is to analyze the increase of head losses by comparing the initial design data of PLTGU Perak Grati in 1997 with actual data at present. The results of the calculation will be able to provide recommendations related to the performance of circulating water pump and maintenance strategy in order to improve the performance of the generating industry in PLTGU Perak-Grati.

The research method used with the Darcy-Weisbach Equation. Assumes the Circulating Water Pump condition is the same as the initial condition. The result of comparison at the beginning of design and actual show increase of head losses due to the corrosion rate in the pipe causing friction in the pipe to increase. Head losses are called major and minor losses, or major losses major and minor losses, head losses major due to friction losses in pipes and minor head losses due to losses in the turns, reducer, valve and so on.

The increase of head loss of pipeline from intake sea water to condenser inlet is 0.841 m. where the head loss at the beginning of the design of 0.666 m to actual current 1.507 m by coating rubber and cleaning on the pipe can reduce head loss by 0.686 m

Keywords: Head Losses, Circulating Water Pipes, Darcy-Weisbach, Corroded

I. PENDAHULUAN

Kondensor merupakan salah satu komponen utama dalam industri pembangkitan tenaga listrik khususnya pada sistem PLTU. Kondensor berfungsi mengkondensasikan uap hasil pembuangan ekstraksi turbin uap menjadi air. Proses ini dilakukan pada kondisi *pressure* kondensor di bawah 1 atm (*vacuum*). Parameter kinerja kondensor dipantau berdasarkan nilai *vacuum* pada kondensor. Nilai *vacuum* kondensor ini akan mempengaruhi bagaimana kinerja *steam turbine* bekerja. Ada dua hal pengaruh dari *vacuum* kondensor pada sistem PLTU. Pertama meningkatkan beban turbin uap. *Vacuum* kondensor akan mempengaruhi tinggi rendah beban yang dihasilkan oleh turbin uap. Apabila *vacuum* tinggi dengan jumlah energi masuk turbin yang sama akan di dapat beban yang lebih tinggi. Kedua, meningkatkan efisiensi pembangkitan. Efisiensi yang dihasilkan akan berhubungan dengan energi yang dibangkitkan. Semakin tinggi energi yang dibangkitkan efisiensi juga akan naik

1.1 Latar Belakang

Sekitar 21 tahun PLTGU Perak-Grati beroperasi dengan *Combine Cycle* kapasitas 750 MW, Blok I menggunakan konfigurasi 3-3-1 yaitu tiga gas turbin, tiga *Heat Recovery Steam Generator* dan satu turbin uap. Dalam kurun waktu tersebut pipa *circulating water* mengalami kenaikan *head losses*. Kenaikan tersebut dapat diakibatkan oleh perubahan kekasaran pipa dan pengendapan material asing pada pipa dan tidak berfungsinya dengan baik *Priming Vacuum pump* pada kondensor, serta faktor lainnya. *Head losses* menyebabkan jumlah uap yang dapat dikondensasi menjadi air mengalami penurunan sehingga membutuhkan *supply* air kondensat dari *make up water tank*. Akibat dari hal-hal tersebut adalah biaya produksi meningkat.

Head loss menyebabkan air yang di *supply circulating water pump* tidak memenuhi *tube-tube* yang berada di paling atas kondensor sehingga terjadi kerusakan material akibat *thermal stress* oleh karena itu perlu melakukan *throttling* atau mengurangi bukaan pada *outlet* kondensor agar semua *tube* di kondensor terisi penuh. Namun *throttling* menyebabkan laju aliran yang terjadi pada tube kondensor menjadi turun. Sehingga perpindahan panas dan *vacuum* kondensor menurun.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapasitas Aliran Fluida

Besarnya kecepatan aliran fluida pada suatu pipa mendekati nol pada dinding pipa dan mencapai maksimum pada tengah-tengah pipa. Kecepatan biasanya sudah cukup untuk menempatkan kekeliruan yang tidak serius dalam masalah aliran fluida sehingga penggunaan kecepatan sesungguhnya adalah pada penampang aliran. Bentuk kecepatan yang digunakan pada aliran fluida umumnya menunjukkan kecepatan yang sebenarnya jika tidak ada keterangan lain yang disebutkan[1].

Besarnya kecepatan akan mempengaruhi besarnya fluida yang mengalir dalam suatu pipa. Jumlah dari aliran fluida mungkin dinyatakan sebagai *volume*, berat atau massa fluida dengan masing-masing laju aliran ditunjukkan sebagai laju aliran volume (m³/s), laju aliran berat (N/s) dan laju aliran massa (kg/s).[1]

Kapasitas aliran (Q) untuk fluida yang incompressible, yaitu[1]:

$$Q = A \cdot v \quad \text{[Persamaan 2.1]}$$

Dimana :
Q = laju aliran fluida (m³/s)
A = luas penampang aliran (m²)
v = kecepatan rata-rata aliran fluida (m/s)

III. Kerugian Head (Head Losses)

Kerugian Head Mayor Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran fluida. Kerugian head akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan rumus Darcy-Waisbach, yaitu[1] :

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad \text{[Persamaan 2.2]}$$

Dimana :
 h_l = kerugian head karena gesekan (m)
 f = faktor gesekan
 D = diameter dalam pipa (m)
 L = panjang pipa (m)
 v = kecepatan aliran rata-rata fluida dalam pipa (m/s)
 g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Faktor gesekan (f) dapat dicari dengan menggunakan diagram Moody

Untuk aliran laminar dan turbulen terdapat rumus yang berbeda. Sebagai patokan apakah suatu aliran itu laminar atau turbulen, dipakai bilangan Reynolds:

$$Re = \frac{vD}{\nu} \quad \text{[Persamaan 2.3]}$$

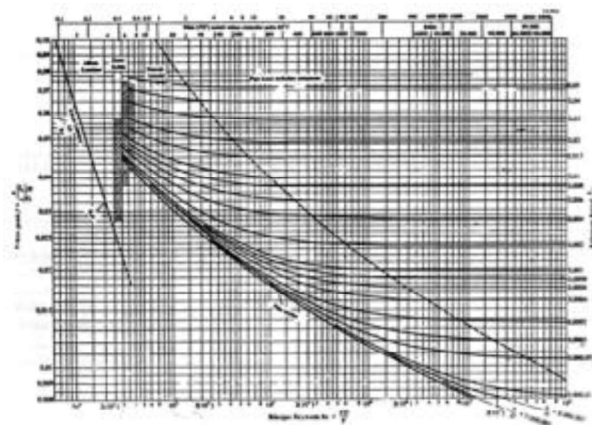
dimana:
 Re = bilangan Reynolds
 v = kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)
 D = diameter dalam pipa (m)
 ν = viskositas kinematik cairan (m^2/s)

untuk $Re < 2300$, aliran bersifat laminar
 untuk $2300 < Re < 4000$, aliran bersifat transisi
 untuk $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen

a. Aliran turbulen

Untuk menghitung koefisien gesek f dapat dihitung dengan menggunakan rumus Darcy. Untuk mengetahui nilai f harus diketahui kekasaran pipa (ϵ), diameter pipa (d) dan Bilangan Reynold (Re).

Dengan diagram *Moody* inilah dapat diketahui nilai koefisien gesekan pipa (Incropera dan Witt, 1985).[2]



Gambar 2.1 Diagram Moody

Material	Roughness (mm)
Flexible Rubber Tubing - Smooth	0.006-0.07
Wrought Iron (New)	0.045
Carbon Steel (New)	0.02-0.05
Carbon Steel (Slightly Corroded)	0.05-0.15
Carbon Steel (Moderately Corroded)	0.15-1
Carbon Steel (Badly Corroded)	1-3
Carbon Steel (Cement-lined)	1.5
Smooth Cement	0.5
Concrete - Very Smooth	0.025-0.2
Concrete - Fine (Floated, Brushed)	0.2-0.8
Concrete - Rough, Form Marks	0.8-3

Tabel 2.1 Nilai kekerasan dinding untuk berbagai pipa komersil[3].

IV. METODE PENELITIAN

- A. Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data dan meninjau jurnal, buku, dan literatur lainnya yang terkait dengan *Head Losses* pada pipa.
- B. Studi Kualitatif melakukan wawancara kepada pihak *Engineering* PLTGU Grati
- C. Mengolah data *Head Loss* dari *Sea Water Intake* sampai *Inlet* Kondensor PLGU Grati Blok 1 berupa data panjang pipa, diameter pipa dan debit pada *circulating water pump* data ini digunakan sebagai pembandingan dari Hasil Hitungan aktual dan Hipotesa saat dilakukan *Coating*

Spesifikasi *Circulating Water Pump*[4]

Number of Pump Required	Two
Number of Stages	One
Fluid to be Pumped	Sea Water
Specific Gravity	1,024
Head Required	11,8m
Pump Internal Losses	0,3m
Flow Rate (Design Point)	7m ³ /sec
Pump speed	371 rpm
motor power	1180 kW

Tabel.3.1 Spesifikasi *Circulating Water Pump*

Spesifikasi *Circulating Water Pipe Line* [4]

Jaringan	Jenis Pipa	Diameter (m)	Panjang (m)
Pipa 6 [A]		1,85	6,2
Pipa 6 [B]	C.Steel(New)	1,85	6,2
Pipa 11,11'		2,80	9
Pipa 15	Concrete (Very Smooth)	3	412
Pipa 19	C.Steel(New)	2,8	13

Pipa 22	2,8	6
Pipa 38	2,8	3
Pipa 24 [A]	1,85	7
Pipa 40 [B]	1,85	20

Tabel.3.2 Spesifikasi *Circulating Water Pump*

VI. HASIL DAN ANALISA

A. Head loss Design

Jaringan	Jenis Pipa	Diameter (m)	Panjang (m)	Roughness (m)	Factor Friction	Velocity (m/s)	Head Loss (m)
Pipa 6 [A]	C.Steel(new)	1,85	6,2	0,02	0,0108	2,60	0,013
Pipa 6 [B]		1,85	6,2	0,02	0,0108	2,60	0,013
Pipa 11,11'		2,80	9	0,02	0,0071	2,27	0,006
Pipa 15	Concrete (very smooth)	3	412	0,06	0,0200	1,98	0,549
Pipa 19	C.Steel(new)	2,8	13	0,02	0,0071	2,27	0,009
Pipa 22		2,8	6	0,02	0,0071	2,19	0,004
Pipa 38		2,8	3	0,02	0,0071	1,10	0,0005
Pipa 24 [A]		1,85	7	0,02	0,0108	2,51	0,013
Pipa 40 [B]		1,85	20	0,02	0,0108	2,51	0,060
Total				482			

Tabel.4.1. *Head Loss Design*

Head loss mayor yang terjadi dari *sea water intake* sampai *inlet kondensor* sebesar 0,666 m dengan keadaan dimana pipa saluran dalam kondisi baik dan bersih

B. Hasil Hitungan *Head loss* Aktual

Selama PLTU Perak Grati beroperasi selama 21 tahun *circulating water pipe line* mengalami korosi sehingga kehilangan *head* pada pipa penyaluran *sea water intake* sampai *inlet kondensor* pun meningkat akibat faktor gesekan yang terjadi akibat kekasaran pada pipa.



Gambar.4.1 Pipa 24 [A] bagian dalam telah mengalami korosi

Jaringan	Jenis Pipa	Diameter (m)	Panjang (m)	Roughness (m)	Factor Friction	Velocity (m/s)	Head Loss (m)
Pipa 6 [A]	<i>Carbon Steel (Slightly Corroded)</i>	1,85	6,2	0,07	0,0378	2,60	0,044
Pipa 6 [B]		1,85	6,2	0,07	0,0378	2,60	0,044
Pipa 11,11'		2,80	9	0,07	0,0250	2,27	0,021
Pipa 15	<i>Concrete (dirty)</i>	3	412	0,12	0,0400	1,98	1,097
Pipa 19	<i>Carbon Steel(Slightly Corroded)</i>	2,8	13	0,07	0,0250	2,27	0,031
Pipa 22		2,8	6	0,07	0,0250	2,19	0,013
Pipa 38		2,8	3	0,07	0,0250	1,10	0,0016
Pipa 24 [A]		1,85	7	0,07	0,0378	2,51	0,046
Pipa 40 [B]		1,85	20	0,07	0,0378	2,51	0,209
Total			482				1,507

Tabel.4.2.Hasil Hitungan *Head Loss* Aktual

Head loss mayor Aktual saat ini setelah 21 tahun beroperasi yang terjadi dari *sea water intake* sampai inlet kondensor sebesar 1,507 m dimana terjadi kenaikan sebesar 0,841 m diakibatkan laju korosi dan kotornya pipa saluran

C. Hasil Hipotesa Hitungan *Head Loss* saat dilakukan *Coating rubber* pada pipa penyaluran: 6A,6B,24A,40B dan Cleaning

Jaringan	Jenis Pipa	Diameter (m)	Panjang (m)	Roughness (m)	Factor Friction	Velocity (m/s)	Head Loss (m)	
Pipa 6 [A]	<i>C.Steel(Coating Rubber)</i>	1,85	6,2	0,01	0,0049	2,60	0,006	
Pipa 6 [B]		1,85	6,2	0,01	0,0049	2,60	0,006	
Pipa 11,11'	<i>C.Steel(Slightly Corroded)</i>	2,80	9	0,02	0,0071	2,27	0,006	
Pipa 15	<i>Concrete (Clean)</i>	3	412	0,08	0,0267	1,98	0,732	
Pipa 19	<i>C.Steel(Slightly Corroded)</i>	2,8	13	0,06	0,0214	2,27	0,026	
Pipa 22		2,8	6	0,06	0,0214	2,19	0,011	
Pipa 38		2,8	3	0,06	0,0214	1,10	0,0014	
Pipa 24 [A]		<i>C.Steel (Coating Rubber)</i>	1,85	7	0,01	0,0049	2,51	0,006
Pipa 40 [B]		<i>C.Steel (Coating Rubber)</i>	1,85	20	0,01	0,0049	2,51	0,027
Total			482				0,821	

Tabel.4.3.Hasil Hitungan hipotesa *Head Loss* dengan melakukan *Coating*

Hasil Hipotesa Hitungan *Head Loss* saat dilakukan *Coating rubber* pada pipa penyaluran: 6A,6B,24A,40B dan *Cleaning* dapat menurunkan *head loss* sebesar 0,686 m. disebabkan *coating rubber* pada pipa penyaluran dapat menghambat laju korosi dan faktor gesekan yang terjadi dalam pipa lebih rendah dibanding pipa berbahan *Carbon Steel* tanpa *Coating Rubber*

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

- A. Kehilangan *head* aktual pipa penyaluran dari *intake sea water* menuju *Inlet* Kondensor adalah 0,841 m
- B. *Head total Circulating water pump* menjadi 10,3 m
- C. Melakukan *Coating Rubber* dan *Cleaning* pipa *Concrete* mampu menurunkan *head loss* sebesar 0,686 m
- D. Kenaikan *head loss* pada pipa penyaluran dikarenakan korosi pada pipa dengan material *Carbon Steel* Seperti pada gambar 4.1.
- E. Kenaikan *head loss* diakibatkan pipa penyaluran kotor akibat kerang yang menempel

5.2 SARAN

- A. Dengan *Head Pompa* menjadi 10,3 m maka perlu upaya pemeliharaan yang baik agar air sampai *inlet* kondensor memenuhi *tube-tube* paling atas, dengan mencegah terjadinya kebocoran *circulating water pipe line* akibat korosi
- B. Perlu dilakukan *Coating rubber* untuk memperlambat laju korosi pada pipa yang terjadi di *Circulating water pipe line* guna mengurangi *head loss* dikarenakan dengan *coating rubber* dapat mempengaruhi *friction* dalam pipa menurun, karna tingkat kekasaran permukaan dalam pipa akan lebih halus
- C. Perlu melakukan *cleaning* pada pipa penyaluran untuk menghilangkan material asing yang menempel pada pipa karena semakin banyak material asing yang mengendap *friction* dalam pipa meningkat, dengan melakukan *cleaning* dapat mengurangi *head loss* dalam pipa

VI. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Indonesia Power UPJP Perak Grati yang telah membantu hasil penelitian ini sebagai wujud kerjasama dengan Politeknik Negeri Jakarta terutama di program studi D-IV Pembangkit Tenaga Listrik

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okii shi.,2002,*Mekanika Fluida jilid 2*, PT. Erlangga. Jakarta.
- [2] Incropera, F.P. dan DeWitt, D.P., 1981, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 2nd edition*, John Wiley & Son, New York.
- [3] <https://neutrium.net/> Absolute Roughness of Pipe Material: Knowledge Base of Engineering Topics(Akses 25 Mei 2018)
- [4] PT Perusahaan Listrik Negara Grati Combined Cycle Power Plant.,1994,*Calculated Data Sheet Of Circulating Water Pump,Specification Volume And File Number M-206*,Mitshubishi Heavy Industries,Ltd Takasago Machinery Works,Pasuruan

KAJIAN PENERAPAN TEKNOLOGI

ANALISIS PERBANDINGAN *HEAT EXCHANGER* JENIS *SHELL AND TUBE* DAN *PLATE* PADA ST

Fajrin Karza Juniarzal¹; Emir Ridwan¹; Andi Ulfiana¹

Program Studi Pembangkit Tenaga Listrik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425

¹fajrinkarza@gmail.com

Abstrak

Turbin uap merupakan salah satu peralatan utama yang memegang peranan penting dalam proses kerja Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU). Fungsi dari turbin uap yaitu mengekspansi uap sangat panas hingga menghasilkan energi mekanis untuk menggerakkan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik. Pada turbin uap, terdapat alat penukar panas yang bertujuan untuk mendinginkan temperatur oli yang akan digunakan sebagai pelumasan dan pendinginan bantalan poros pada poros turbin. Temperatur oli dijaga agar bantalan poros tidak melampaui batas normal panasnya dan mengalami keausan. Ada perbedaan dalam penggunaan jenis alat penukar panas pada turbin uap. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) X, jenis alat penukar panas yang digunakan adalah tipe pelat. Sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Y, jenis alat penukar panas yang digunakan adalah tipe pipa dan cangkang.

Analisis ini bertujuan untuk menentukan alat penukar panas yang cocok dan paling efektif untuk digunakan pada turbin uap. Untuk mengetahui perbandingan perpindahan panas dan efektivitas alat penukar panas dari masing-masing tipe, digunakan metode perhitungan LMTD dengan data dari masing-masing tipe alat penukar panas. Pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) X, temperatur penurunan oli setelah melewati alat penukar panas dengan tipe pelat memiliki nilai berkisar 10°C. Sedangkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Y, temperatur oli setelah melewati alat penukar panas dengan tipe pipa dan cangkang memiliki nilai berkisar 8°C.

Setelah dilakukan analisis, alat penukar panas dengan tipe pelat lebih cocok dan efektif untuk digunakan pada turbin uap dibandingkan alat penukar panas dengan tipe cangkang dan pipa dikarenakan mampu menurunkan temperatur oli hingga 10°C. Alat penukar panas dengan tipe pelat juga lebih fleksibel karena dapat dengan mudah untuk dilakukan penambahan pada Pelat-nya.

Kata kunci: PLTGU, Turbin Uap, Alat Penukar Panas.

Abstract

Steam Turbine is one of the main equipment that takes an important role in the process of Gas and Steam Power Plant (PLTGU). The function of Steam Turbine is to expand superheat vapor to produce mechanical energy to drive the generator which will generate electrical energy. In Steam Turbine, there is a Heat Exchanger which aims to cool the oil temperature to be used as lubrication and cooling bearing on the turbine shaft. The temperature of the oil is kept so that the bearings are not overheated and wear out. There is a difference in the use of Heat Exchanger type on Steam Turbine. In the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) X, the type of Heat Exchanger is Plate type. While in the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) Y, the type of Heat Exchanger is Shell and Tube type.

This analysis aims to determine the most suitable and most effective Heat Exchanger to be used on Steam Turbine. To know the ratio of heat transfer and effectiveness of Heat Exchanger of each type, calculation method of NTU and LMTD with data from each type of Heat Exchanger were used. In the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) X, the oil drop temperature after passing the Heat Exchanger with Plate type has a value ranging from 10 °C. While in the Gas and Steam Power Plant (PLTGU) Y, the temperature of oil decrease after passing Heat Exchangers with Shell and Tube type has a value ranging from 8 °C.

After the analysis, Heat Exchanger with Plate type is more suitable and effective for use on Steam Turbine compared to Heat Exchangers with Shell and Tube type due to be able to lower the oil temperature up to 10 °C. Heat Exchanger with Plate type is also more flexible because it can be easily done for addition to its Plate.

Keyword: PLTGU, steam turbine, heat exchanger

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat exchanger adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan proses pertukaran kalor antara dua fluida, baik cair (panas atau dingin) maupun gas, dimana fluida ini memiliki *temperature* yang berbeda. *Heat exchanger* dibagi menjadi beberapa tipe, antara lain adalah *heat exchanger* tipe *shell and tube* dan *heat exchanger* tipe *plate*. Penggunaan *heat exchanger* pada PLTGU khususnya pada turbin uap tidak selalu menggunakan jenis yang sama. Turbin uap itu sendiri sangat dijaga keandalannya agar dapat memproduksi listrik dengan efisiensi yang tinggi. Jika turbin uap mengalami panas yang berlebih (*overheat*), energi yang dihasilkan oleh turbin uap akan terbuang sebagian dengan berubah menjadi energi panas. Peranan *heat exchanger* sangat penting untuk menjaga *temperature* oli pelumas pada turbin uap tetap terjaga pada *temperature* yang dianjurkan. Penggunaan *heat exchanger* pada turbin uap perlu diteliti untuk mencari jenis *heat exchanger* pada turbin uap perlu diteliti untuk mencari jenis *heat exchanger* yang tepat dan efektif.

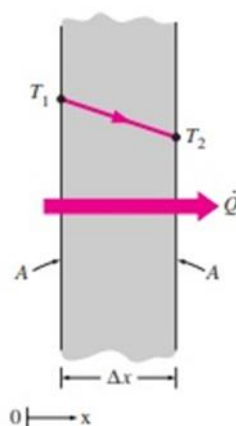
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi panas atau kalor karena adanya perbedaan temperatur. Panas dapat berpindah dengan cara: konduksi, konveksi, dan radiasi. Semua cara perpindahan panas membutuhkan adanya perbedaan suhu. Semua cara tersebut merupakan perpindahan panas dari medium dengan temperatur tinggi ke medium dengan temperature rendah.

a. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan energi dari substansi suatu partikel yang lebih berenergi ke substansi suatu partikel dengan energi yang lebih rendah dimana kedua partikel tersebut berdekatan sebagai hasil interaksi dari kedua partikel tersebut. Konduksi dapat terjadi pada zat padat, cair, atau gas. Pada zat cair dan gas, konduksi disebabkan oleh tumbukan dan penyebaran molekul-molekul ketika bergerak tidak beraturan. Sedangkan pada zat padat, disebabkan oleh kombinasi antara pergerakan molekul pada fin dan perpindahan energi dari elektron bebas.



Gambar 2.1 Konduksi

Gambar II-1 menggambarkan suatu konduksi panas yang terjadi pada dinding pesawat terbang dengan ketebalan Δx dan area permukaan A .

b. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan energi yang terjadi antara permukaan zat padat dan zat cair yang berdekatan atau gas yang bergerak dan menyebabkan kombinasi efek konduksi dan pergerakan fluida. Semakin cepat pergerakan fluida maka akan semakin besar pula konveksi perpindahan panasnya.

c. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan energi dari sumber ke penerima tanpa ada perlambatan perpindahan energi atau tanpa sarana eksistensi material. Semua zat (pada temperatur di atas nol absolute) memancarkan radiasi elektromagnetik. Jika terdapat dua material dengan temperatur yang berbeda maka radiasi energi dari salah satu material di tangkap oleh material lainnya (dan sebaliknya), terdapat perpindahan energi dari yang memiliki energi lebih besar (temperatur yang lebih tinggi). Faktanya, perpindahan energi dengan cara ini adalah yang paling cepat (dalam kecepatan cahaya). Ini menjelaskan, bagaimana energi yang dimiliki matahari dapat diterima oleh bumi.

2.2 Alat Penukar Panas

Alat penukar panas adalah peralatan yang memfasilitasi pertukaran panas antara dua fluida dengan temperature yang berbeda dan menjaganya agar tidak tercampur satu sama lain. Alat penukar panas umumnya digunakan dalam praktek dalam berbagai aplikasi, dari pemanasan dan sistem pendingin udara, untuk pengolahan kimia dan produksi listrik di pabrik dalam besar. Aplikasi pertukaran panas yang berbeda memerlukan berbagai jenis perangkat dan konfigurasi alat penukar panas yang berbeda. Upaya untuk mencocokkan perangkat penukar panas dengan persyaratan transfer panas telah menghasilkan berbagai jenis desain alat penukar panas yang inovatif. Alat penukar panas dapat dibagi berdasarkan konstruksi dan jenis permukaan perpindahan panasnya. Pembagian tipe heat exchanger secara konstruksi diantaranya tipe *tubular*, Sirip dan pelat, dan *Tube and fin*. Sementara itu, pembagian tipe *heat exchanger* berdasarkan jenis permukaan perpindahan panasnya dapat diatur dalam beberapa bentuk diantaranya *single tube arrangement*, *shell and tube arrangement*, dan *cross flow heat exchanger*.

a. Alat Penukar Panas dengan Sirip Pelat

Alat penukar panas tipe ini memiliki pelat yang bergelombang, komponen tersebut biasanya berbentuk segitiga dan persegi.

b. Alat Penukar Panas *Shell and tube*

Shell and tube merupakan jenis *heat exchanger* yang populer dan lebih banyak digunakan. *Shell and tube* terdiri dari sejumlah *tube* yang terpasang didalam *shell* yang berbentuk silindris. Terdapat dua fluida yang mengalir, dimana satu fluida mengalir di dalam *tube*, dan yang lainnya mengalir diluar *tube*.

2.3 Perhitungan Kinerja *Heat Exchanger*

Perhitungan yang digunakan dalam mencari efektivitas dari *Heat Exchanger* jenis *shell and tube* dan jenis *plate* diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan laju perpindahan panas aktual

Laju perpindahan panas aktual adalah laju panas yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut[1]:

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad (\text{Persamaan 1})$$

Atau

$$Q_{act} = C_c \cdot (T_{c1} - T_{c2}) \quad (\text{Persamaan 2})$$

Dimana:

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (W)

C_h = Laju kapasitas panas fluida panas (W/K)

C_c = Laju kapasitas panas fluida dingin (W/K)

T_{h1} = Temperatur fluida panas masuk *heat exchanger* (K)

T_{h2} = Temperatur fluida panas keluar *heat exchanger* (K)

T_{c1} = Temperatur fluida dingin masuk *heat exchanger* (K)

T_{c2} = Temperatur fluida dingin keluar *heat exchanger* (K)

Selain itu perhitungan laju perpindahan panas aktual dapat dicari dengan persamaan[1]:

$$Q_{act} = U \cdot A_s \cdot \Delta T_{lm} \quad (\text{Persamaan 3})$$

dimana :

U = Koefisien perpindahan panas global (W/m^2K)

A_s = Luas permukaan perpindahan panas (m^2)

ΔT_{lm} = Perbedaan temperatur rata-rata logaritma/ LMTD (K)

b. Perhitungan laju kapasitas panas

Untuk mempermudah menghitung laju perpindahan panas, dibutuhkan perhitungan laju kapasitas panas. Kapasitas panas dapat dihitung dengan persamaan berikut[1]:

$$C_h = \dot{m}_h \cdot cp_h \quad (\text{Persamaan 4})$$

atau

$$C_c = \dot{m}_c \cdot cp_c \quad (\text{Persamaan 5})$$

dimana:

C_h = Laju kapasitas panas fluida panas (W/K)

C_c = Laju kapasitas panas fluida dingin (W/K)

\dot{m}_h = Laju aliran massa fluida panas (kg/s)

\dot{m}_c = Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

c. Perhitungan laju perpindahan panas maksimal

Laju perpindahan panas maksimal adalah nilai laju perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi pada *heat exchanger* yang dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1}) \quad \text{(Persamaan 6)}$$

dimana:

Q_{max} = Laju perpindahan panas (W)

C_{min} = Nilai terkecil diantara nilai C_h dan C_c (W/K)

T_{h1} = Temperatur fluida panas masuk *heat exchanger* (W/K)

T_{c1} = Temperatur fluida dingin masuk *heat exchanger* (W/K)

d. Perhitungan LMTD

Besarnya nilai LMTD atau perbedaan temperatur rata rata logaritma bergantung pada jenis *heat exchanger* yang digunakan, dimana pada dasarnya dibagi menjadi 3 (tiga) jenis *heat exchanger* berdasarkan arah alirannya yaitu *parallel flow* (searah), *counter flow* (berlawanan), dan *multi pass and cross flow* (*shell and tube*). Persamaan untuk menghitung nilai LMTD dari masing masing jenis *heat exchanger* yaitu [1]:

1) *Parallel flow* dan *counter flow*

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad \text{(Persamaan 7)}$$

dimana untuk *parallel flow*:

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} \quad \text{(Persamaan 8)}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2} \quad \text{(Persamaan 9)}$$

sedangkan untuk *counter flow*:

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad \text{(Persamaan 10)}$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \quad \text{(Persamaan 11)}$$

2) *Multi pass* dan *cross flow*

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm,cf} \quad \text{(Persamaan 12)}$$

dimana :

F = Faktor koreksi, $F < 1$

$\Delta T_{lm,cf}$ = LMTD *counter flow* (K)

e. Perhitungan efektivitas

Efektivitas *heat exchanger* dapat dihitung dengan persamaan berikut [1]:

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \quad \text{(Persamaan 12)}$$

dimana:

ϵ = Efektivitas (%)

Q_{act} = Laju perpindahan panas aktual (W)

Q_{max} = Laju perpindahan maksimal (W)

III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menentukan jenis *heat exchanger* yang tepat dan efektif untuk digunakan pada turbin uap, maka harus menggunakan metode-metode sebagai berikut

1. Studi literatur pada data sekunder yang di dapat dari masing-masing PLTGU
2. Pengolahan data dengan menggunakan metode LMTD
3. Perbandingan data hasil penelitian
4. Plotting ke dalam grafik
5. Penarikan kesimpulan

Alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut

Alat:

- 1 buah Laptop HP (Hewlett Packard)
- Software Microsoft Excel

Bahan:

- Data operasi mengenai temperature oli pada turbin uap, PLTGU Cilegon dan PLTGU Grati.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan data

Tahap awal yang dilakukan adalah mengumpulkan data-data yang telah diketahui atau data instalasi, yang bersumber dari *manual book*, katalog produk, dan data operasi dari PLTGU Cilegon dan PLTGU Grati. Data instalasi tersebut diantaranya spesifikasi *shell and tube* dan *plate* dan karakteristik fluida. Sedangkan data operasi yaitu temperatur kerja fluida yang masuk dan keluar *shell and tube* dan *plate*.

a. Spesifikasi *Heat Exchanger tipe Shell and tube*

	Tekanan (kg/cm ²)	Temperatur (°C)
SISI AIR	11	50
SISI OIL	9	85
Max tekanan yang diperbolehkan dalam operasi		

	Sisi Air		Sisi Oli	
<i>Design Press</i>	11	kg/cm ²	8.5	kg/cm ²
<i>Design Temp</i>	50	°C	85	°C
<i>Test Press</i>	16	kg/cm ²	12	Kg/cm ²
<i>Hold Volume</i>	-		-	

b. Spesifikasi *Heat Exchanger tipe Plate*

	Tekanan(kg/cm ²)	Temperatur (°C)
SISI AIR	12.02	50
SISI OLI	4.99	80
Max tekanan yang diperbolehkan dalam operasi		

	Sisi Air		Sisi Oli	
<i>Design Press</i>	12.03	kg/cm ²	4.99	kg/cm ²
<i>Design Temp</i>	50	°C	80	°C
<i>Test Press</i>	18.048	kg/cm ²	7.54	kg/cm ²
<i>Hold Volume</i>	181.2	L	181.2	L

c. Karakteristik fluida yang digunakan

1) Karakteristik oli

- ISO grade : VG 46
- *Manufacturer* : Shell
- Massa jenis (ρ_h) : 885,8 kg/m³
- Panas jenis (c_{ph}) : 2,001 kJ/kg.K
- Debit aliran (q_h) : 0,000167 m³/s

2) Karakteristik air

- Massa jenis (ρ_c) : 994,1 kg/m³
- Panas jenis (c_{pc}) : 4,187 kJ/kg.K
- Debit aliran (q_c) : 0,0000833 m³/s

4.2 Perhitungan Kinerja Masing-masing Tipe Heat Exchanger

a. Perhitungan Data Instalasi

Parameter yang diketahui diantaranya:

- Massa jenis oli, $\rho_h = 885,8 \text{ kg/m}^3$
- Massa jenis air, $\rho_c = 994,1 \text{ kg/m}^3$
- Debit aliran oli, $q_h = 0,000167 \text{ m}^3/\text{s}$
- Debit aliran air, $q_c = 0,0000833 \text{ m}^3/\text{s}$
- Panas jenis oli, $c_{ph} = 2,001 \text{ kJ/kg.K}$
- Panas jenis air, $c_{pc} = 4,187 \text{ kJ/kg.K}$

Selanjutnya dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1) Perhitungan laju aliran massa oli, \dot{m}_h

$$\dot{m}_h = \rho_h \cdot q_h$$

$$\dot{m}_h = 0.148 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

2) Perhitungan laju aliran massa air, \dot{m}_c

$$\dot{m}_c = \rho_c \cdot q_c$$

$$\dot{m}_c = 0.083 \frac{kg}{s}$$

- 3) Perhitungan laju kapasitas oli, C_h

$$C_h = \dot{m}_h \cdot cp_h$$

$$C_h = 0.296 \frac{kJ}{s \cdot K} = 0.296 \frac{kW}{K}$$

- 4) Perhitungan laju kapasitas air, C_c

$$C_c = \dot{m}_c \cdot cp_c$$

$$C_c = 0.347 \frac{kJ}{s \cdot K} = 0.347 \frac{kW}{K}$$

- 5) Laju kapasitas panas minimum, C_{min}

Karena nilai $C_h < C_c$ maka,

$$C_{min} = C_h = 0.296 \frac{kW}{K}$$

b. Perhitungan Data Operasi dan Kinerja

Perhitungan akan dibagi menjadi beberapa kondisi dari tiap-tiap tipe *Heat Exchanger*.

- 1) Perhitungan *heat exchanger* jenis *plate*

- a) Kondisi Awal Pengoperasian

Parameter yang diketahui diantaranya:

- $T_{h1} = 57.71 \text{ } ^\circ\text{C} = 330.86 \text{ K}$
- $T_{h2} = 45.59 \text{ } ^\circ\text{C} = 318.74 \text{ K}$
- $T_{c1} = 30.87 \text{ } ^\circ\text{C} = 304.02 \text{ K}$
 - $\dot{m}_h = 0.148 \frac{kg}{s}$
 - $\dot{m}_c = 0.083 \frac{kg}{s}$
 - $C_h = 0.296 \frac{kW}{K}$
 - $C_c = 0.347 \frac{kW}{K}$

- $C_{min} = 0.296 \frac{kW}{K}$
- $A_s = 108.5 m^2$

b) Perhitungan Q_{max}

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1})$$
$$Q_{max} = 7.94 kW$$

c) Perhitungan Q_{act}

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2})$$
$$Q_{act} = 3.58 kW$$

d) Perhitungan ϵ

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\%$$

$$\epsilon = 45.08 \%$$

2) Perhitungan *heat exchanger* jenis *shell and tube*

a) Kondisi Awal Pengoperasian

Parameter yang diketahui diantaranya:

- $T_{h1} = 51^\circ C = 324.55 K$
- $T_{h2} = 45^\circ C = 318.15 K$
- $T_{c1} = 32.5^\circ C = 305.65 K$
- $\dot{m}_h = 0.148 \frac{kg}{s}$
- $\dot{m}_c = 0.083 \frac{kg}{s}$
- $C_h = 0.296 \frac{kW}{K}$
- $C_c = 0.347 \frac{kW}{K}$
- $C_{min} = 0.296 \frac{kW}{K}$
- $A_s = 154 m^2$

e) Perhitungan Q_{max}

$$Q_{max} = C_{min}(T_{h1} - T_{c1})$$
$$Q_{max} = 5.47 \text{ kW}$$

f) Perhitungan Q_{act}

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2})$$
$$Q_{act} = 1.89 \text{ kW}$$

g) Perhitungan ϵ

$$\epsilon = \frac{Q_{act}}{Q_{max}} \times 100\%$$

$$\epsilon = 34.5\%$$

4.3 Analisis

a) Analisis Perbandingan Q_{act}

Berdasarkan hasil perhitungan laju perpindahan panas aktual dari masing-masing tipe *heat exchanger*, nilai laju perpindahan panas *heat exchanger* tipe *plate* adalah 3.58 kW. Sedangkan nilai laju perpindahan panas aktual *heat exchanger* tipe *shell and tube* adalah 1.89 kW.

b) Analisis efektivitas ϵ

Berdasarkan hasil perhitungan efektivitas dari masing-masing tipe *heat exchanger*, nilai efektivitas *heat exchanger* tipe *plate* adalah 45.08%. Sedangkan nilai efektivitas *heat exchanger* tipe *shell and tube* adalah 34.5%

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dihasilkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. *Heat Exchanger* tipe *Plate* memiliki laju perpindahan panas aktual 3.58 kW lebih besar 1.69 kW dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Laju perpindahan panas aktual yang lebih unggul adalah dari *heat exchanger* tipe *plate*.
2. Efektivitas dari masing-masing *heat exchanger* bergantung terhadap perbandingan Q_{act} dan Q_{max} yang dihasilkan. Sehingga jika Q_{act} -nya mengalami penurunan maka efektivitasnya pun mengalami penurunan. Dari perbandingan laju perpindahan panas kedua tipe *heat exchanger*, *heat exchanger* tipe *plate* lebih besar dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube*. Begitu pun hasil perhitungan efektivitas yang dihasilkan. *Heat exchanger* tipe *plate* lebih efektif 10.58% dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube*.
3. Dalam hal *maintenance* pun, *heat exchanger* tipe *plate* lebih murah dibanding tipe *shell and tube*.

Dengan ini penulis menyimpulkan bahwa *heat exchanger* tipe *plate* lebih unggul dibanding *heat exchanger* tipe *shell and tube* pada *steam turbine*. Penulis meyarankan jika pembangkit ingin mengurangi biaya dalam perawatan *heat exchanger*, *heat exchanger* tipe *plate* adalah pilihan yang tepat

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Cengel, Y.A. (2006). *Heat Transfer: A Practical Approach* (2nd Ed). Ohio: McGraw- Hill Higher Education.
- [2]. Kakac, S., Liu, H. (2002). *Heat exchanger: Selection, Rating, and Thermal Design* (2nd Ed). Florida: CRC Press.
- [3]. Kothandaraman, C.P. (2006). *Fundamentals of Heat and Mass Trasfer* (3rd Ed). New Delhi: New Age International (P) Ltd.
- [4]. Bizzy, I., Setiadi, R. (2013). Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3(1).
- [5]. Soekardi, C. (2015). Analisis Pengaruh Efektivitas Perpindahan Panas dan Tahanan Termal Terhadap Rancangan Termal Alat Penukar Kalor Shell & Tube. *Jurnal Sinergi*, 19(1).
- [6]. Holman, J.P. (2010). *Heat Transfer* (10th Ed). New York: McGraw-Hill

ANALISA PENGARUH KINERJA STEAM JET EJECTOR TERHADAP KEVAKUMAN KONDENSOR

Sulaiman Fikran¹, Cecep Slamet Abadi¹, Emir Ridwan¹

¹Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta

Kampus Baru UI Depok, 16425. Indonesia

Email : fikrannn@gmail.com

Abstrak

Kehandalan pembangkit dan efisiensi turbin dapat bekerja secara optimal bila tekanan dalam kondensor vakum. Pada volume yang sama, air akan memiliki massa ratusan kali lipat dibandingkan dengan uap sehingga jika uap yang masuk kondensor disemprotkan air lalu uap berubah fasa menjadi air, maka akan terjadi penyusutan dan pengurangan volume dan mengakibatkan kondisi dalam kondensor menjadi vakum. Kenyataannya masih ada gas yang tidak dapat terkondensasi di dalam kondensor yaitu Non Condensable Gas. Hal ini berpengaruh terhadap naiknya tekanan dan kevakuman dalam kondensor, maka dibutuhkan Gas Extraction untuk mengeluarkan Non Condensable Gas dari dalam kondensor dengan cara dihisap oleh stem jet ejector. Steam jet ejector berfungsi untuk menghisap Non Condensable Gas dari dalam kondensor menuju intercondenser dan aftercondenser untuk dikondensasikan kembali agar gas berubah fasa menjadi air. Penelitian ini bertujuan untuk menjaga vakum kondensor sesuai dengan set poin, menjaga efisiensi turbin, dan melakukan perhitungan kinerja steam jet ejector, menganalisa tekanan difusser dan entrainment ratio. Steam jet ejector menggunakan steam primer sebagai fluida penghisap dengan menggunakan prinsip Bernoulli. Terdapat tiga bagian utama steam jet ejector yaitu nozzle, mixing chamber, dan difusser. Tekanan diffuser pada ejector mempengaruhi kinerja steam jet ejector. Dari hasil perhitungan Kenaikan nilai entrainment ratio sebesar 0,12 dapat meningkatkan efisiensi steam jet ejector sebesar 14%. Nilai entrainment ratio dipengaruhi oleh laju aliran massa uap penggerak dan laju aliran massa Non Condensable Gas yang terhisap. Semakin banyak Non Condensable Gas yang terdapat di kondensor maka akan menyebabkan tekanan kondensor meningkat dan menjadi jauh dari tekanan vakum yaitu 0,1 bar. Efisiensi kinerja dari steam jet ejector mempengaruhi tekanan dari kondensor, efisiensi steam jet ejector sebesar 36% dapat menjaga tekanan vakum dalam kondensor sebesar 0,12 bar.

Kata kunci: tekanan diffuser, steam jet ejector, tekanan vakum, Non Condensable Gas, entrainment ratio.

Abstract

The reliability of power plant and turbine efficiency can work optimally when the pressure in condenser is vacuum. At the same volume, the water will have hundreds of times the mass of water compared to steam so that if the vapor entering the condenser is sprayed water and the vapor turns phase into water, it will occur shrinkage and volume reduction and result in condenser conditions into a vacuum. In fact there is still a gas that can not be condensed in the condenser that is Non Condensable Gas. This will effect on the increase of pressure and vacuum in condenser, hence required Gas Extraction to remove Non Condensable Gas from inside condenser by way of sucked by stem jet ejector. Steam jet ejector serves to suck Non Condensable Gas from the condenser to the intercondenser and aftercondenser to be condensed back so that the gas turns phase into water. This research aims to keep the condenser vacuum in accordance with set points, maintain turbine efficiency, and perform performance calculations of steam jet ejector, analyze diffuser pressure and entrainment ratio. Steam jet ejector uses primary steam as a suction fluid using the Bernoulli principle. There are three main parts of steam jet ejector namely nozzle, mixing chamber, and diffuser. The pressure of the diffuser on the ejector affects the performance of the steam jet ejector. From the calculation, the increase of entrainment ratio value of 0.12 can increase the efficiency of steam jet ejector by 14%. The entrainment ratio value is influenced by the mass flow rate of the driving velocity and the mass flow rate of the inhaled Non Condensable Gas. The more Non Condensable Gas contained in the condenser will cause the condenser pressure to rise and become away from the vacuum pressure of 0.1 bar. The performance efficiency of the steam jet ejector affects the pressure of the condenser, the efficiency of the 36% steam jet ejector can keep the vacuum pressure in the condenser by 0.12 bar.

Keywords: Diffuser pressure, steam jet ejector, vacuum pressure, Non Condensable Gas, entrainment ratio.

I. PENDAHULUAN

Latar belakang

Pemanfaatan panas bumi untuk pembangkitan listrik terus meningkat. Keandalan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi mempengaruhi produksi listrik. Keandalan PLTP dapat diekspresikan dalam bentuk kontinuitas dan stabilitas pasokan uap, yang kemudian dimanfaatkan untuk mendapatkan kontinuitas dan stabilitas produksi listrik. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan berbagai upaya untuk menjaga keandalan pembangkit dan meningkatkan efisiensi dengan mengoptimalkan kinerja peralatannya. Uap yang keluar dari turbin masuk ke kondensor sebagian besar adalah uap bercampur dengan air dan di kondensor akan mencapai kesetimbangan massa dan energi. Pada volume yang sama, air akan memiliki massa ratusan kali lipat dibandingkan dengan uap sehingga jika uap yang masuk kondensor disemprotkan air lalu uap berubah fasa menjadi air, maka akan terjadi penyusutan volume dan mengakibatkan kondisi dalam kondensor menjadi vakum.

Ternyata masih ada gas yang tidak dapat terkondensasi di dalam kondensor yaitu *Non Condensable Gas* (NCG). Hal ini berpengaruh terhadap naiknya tekanan dan kevakuman dalam kondensor. Berkumpulnya NCG di kondensor akan mengakibatkan nilai enthalpi di kondensor naik, naiknya nilai entalpi kondensor akan menurunkan efisiensi *thermal* turbin dan pada akhirnya akan menurunkan kinerja mekanis turbin. Maka dibutuhkan *Gas Extraction* untuk mengeluarkan NCG dari dalam kondensor dengan cara dihisap oleh *stem jet ejector*. Untuk menjaga kondisi vakum kondensor dan memaksimalkan efisiensi turbin perlu diadakan penelitian dengan metode analisis kinerja *steam jet ejector* terhadap kevakuman kondensor.

Tujuan Penelitian

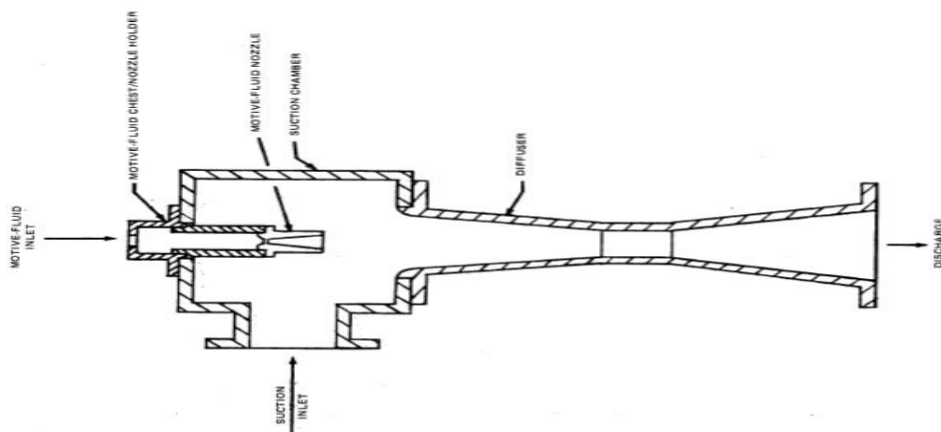
Berdasarkan latar belakang dan perumusan masalah, maka tujuan penulisan dari karya tulis adalah :

1. Menjaga vakum kondensor sesuai dengan set point.
2. Menjaga kinerja steam turbin.
3. Melakukan perhitungan kinerja ejector dan kondensor.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Steam Jet Ejector

Prinsip kerja *steam Jet Ejector* adalah mengubah energi tekanan dari uap penggerak menjadi energi kecepatan. Proses perubahan energi terjadi ketika uap penggerak dialirkan masuk *inlet Nozzle*, selanjutnya uap penggerak diekspansikan oleh *nozzle* sehingga terjadi penurunan tekanan dan peningkatan kecepatan. Tekanan di sekitar mulut *outlet nozzle* menjadi rendah. Tekanan di sekitar mulut *outlet nozzle* tersebut lebih rendah daripada tekanan gas yang ingin dihisap sehingga menyebabkan gas tersebut terhisap oleh *steam jet ejector*.



Gambar 2.1 Steam Jet Ejector

Kinerja *steam jet ejector* adalah kemampuan kerja *steam jet ejector* dalam mengekstraksi gas – gas yang tidak dibutuhkan dari kondensor, untuk menjaga kevakuman kondensor. Perhitungan kinerja difokuskan pada tekanan *diffuser*.

2.2 Aliran Kompresibel

Aliran kompresibel yaitu suatu fluida yang bergerak mengalami perubahan volume atau mengalami pemampatan. Ada dua fenomena yang mungkin terjadi pada aliran kompresibel. Yang pertama adalah *chocking*, dimana laju aliran massa pada saluran dibatasi oleh kondisi *sonic*. Kedua adalah *shock wave*, yaitu properti berubah pada aliran *supersonic*.

Mach Number

Mach Number merupakan suatu perbandingan antara kecepatan relatif suatu objek terhadap kecepatan suara. *Mach Number* biasanya digunakan sebagai salah satu parameter untuk menyatakan suatu aliran kompresibel atau tidak. Ketika sebuah benda menembus udara, molekul udara di sekitar benda itu akan terganggu hingga dapat mengubah kerapatan atau densitas udara sekitar. Semakin bertambahnya kecepatan maka semakin berpengaruh terhadap aliran udara sekitar. Dalam *steam jet ejector* benda yang dimaksud adalah aliran uap primer yang memiliki kecepatan tinggi. Perhitungan *mach number* adalah sebagai berikut :

$$M = \frac{v}{s} \quad \text{[Persamaan 1]}$$

Rentang nilai *Mach Number* dapat diklasifikasikan seperti ini :

1. Aliran *Incompressible* : $M \leq 0,3$ dimana perubahan densitas sangat diabaikan.
2. Aliran *Compressible subsonic* : $0,3 < M < 0,8$ dimana perubahan densitas sangat penting tetapi tidak ada *shock*.
3. Aliran *Compressible supersonic* : $1,2 < M < 3$ terdapat gelombang *shock*.
4. Aliran *transonic* : $0,8 < M < 1,2$ daerah antara *subsonic* dan *supersonic* dimana *shock* pertama kali muncul.
5. Aliran *hypersonic* : $3,0 < M$ dimana *shock* aliran berubah secara kuat

Sedangkan kecepatan suara untuk gas ideal merupakan fungsi dari temperature ,yaitu :

$$s = \sqrt{kRT} \quad \text{[Persamaan 2]}$$

2.3 Tekanan Difuser

Tekanan Difuser merupakan tekanan fluida yang ada pada keluaran difuser. Tekanan difuser dibutuhkan untuk mendapatkan tekanan *discharge* dan efisiensi pada *steam jet ejector*. Untuk menghitung tekanan difuser perlu memperhitungkan nilai efisiensi difuser. Menghitung tekanan difuser menggunakan persamaan :

$$Pd = Pt \left[\frac{\eta_d(k-1)}{2} M^2 + 1 \right]^{\frac{k}{k-1}} \quad \text{[Persamaan 3]}$$

2.4 Entrainment Ratio

Entrainment ratio adalah perbandingan antara laju aliran massa uap dan gas yang terhisap dengan laju aliran massa uap penggerak. Semakin tinggi *entrainment ratio* berarti semakin banyak *Non Condensable Gas* yang terhisap. Hal ini akan menyebabkan efisiensi *steam ejector* meningkat. *Entrainment ratio* juga dapat menjadi tolak ukur kemampuan *steam jet ejector* menghisap *Non Condensable Gas*. Menghitung *entrainment ratio* menggunakan persamaan berikut ini :

$$w = \frac{m_s}{m_p} \quad \text{[Persamaan 4]}$$

2.5 Efisiensi steam jet ejector

Efisiensi *steam jet ejector* dipengaruhi oleh nilai *entrainment ratio*, tekanan uap penggerak, tekanan *Non Condensable Gas*, dan tekanan *discharge*. Efisiensi *steam jet ejector* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\eta = \frac{m_s}{m_p} \frac{1 - \left(\frac{P_s}{P_d}\right)^{\frac{k-1}{k}}}{\left(\frac{P_m}{P_d}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1} \quad \text{[Persamaan 5]}$$

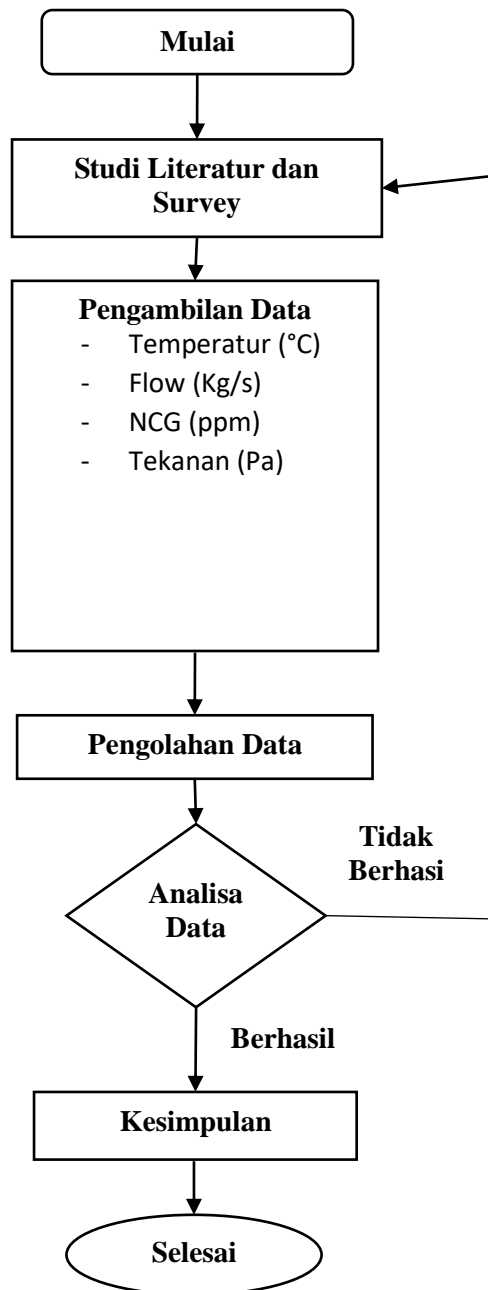
Dari persamaan – persamaan di atas maka akan didapatlah efisiensi dari *steam jet ejector*.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Penyusunan skripsi ini menggunakan beberapa macam metode. Metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah, meliputi perencanaan, pengambilan sampel, pengambilan dan pengumpulan data serta teknik analisis di PT Indonesia Power UPJP Kamojang.

Data yang diambil meliputi data sistem uap utama, data sistem pendingin utama, dan data sistem primary sebelum dan sesudah overhaul.

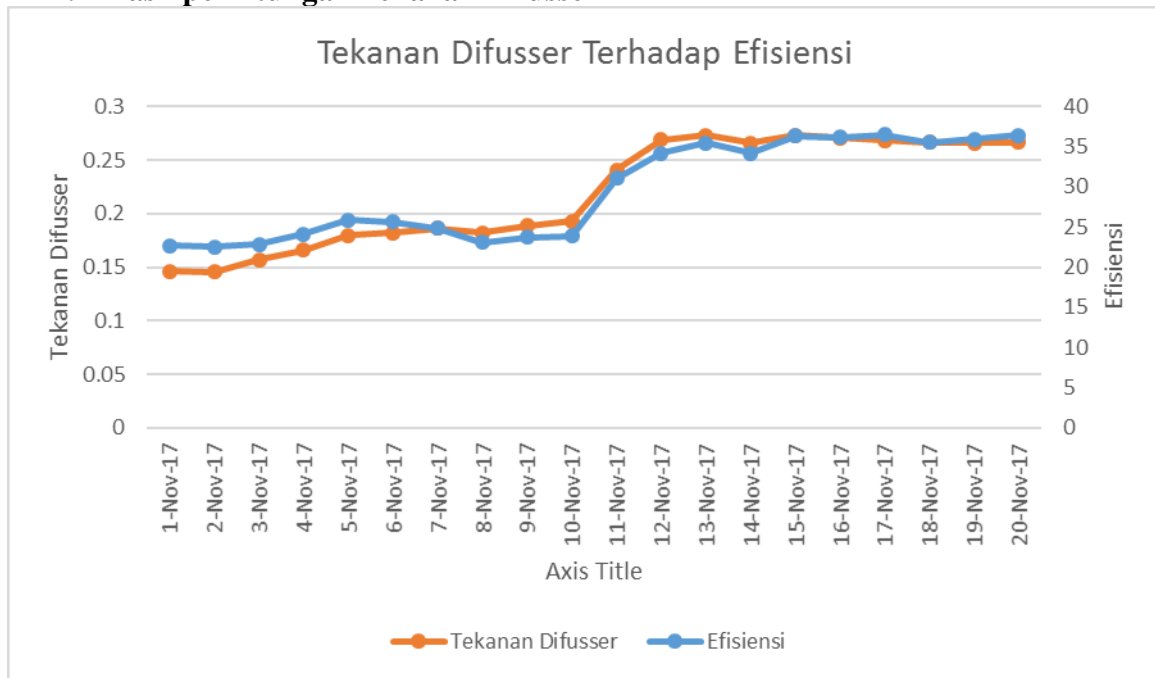
Penelitian ini dilaksanakan secara sistematis, yang dapat diuraikan melalui diagram alir di bawah ini :



Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

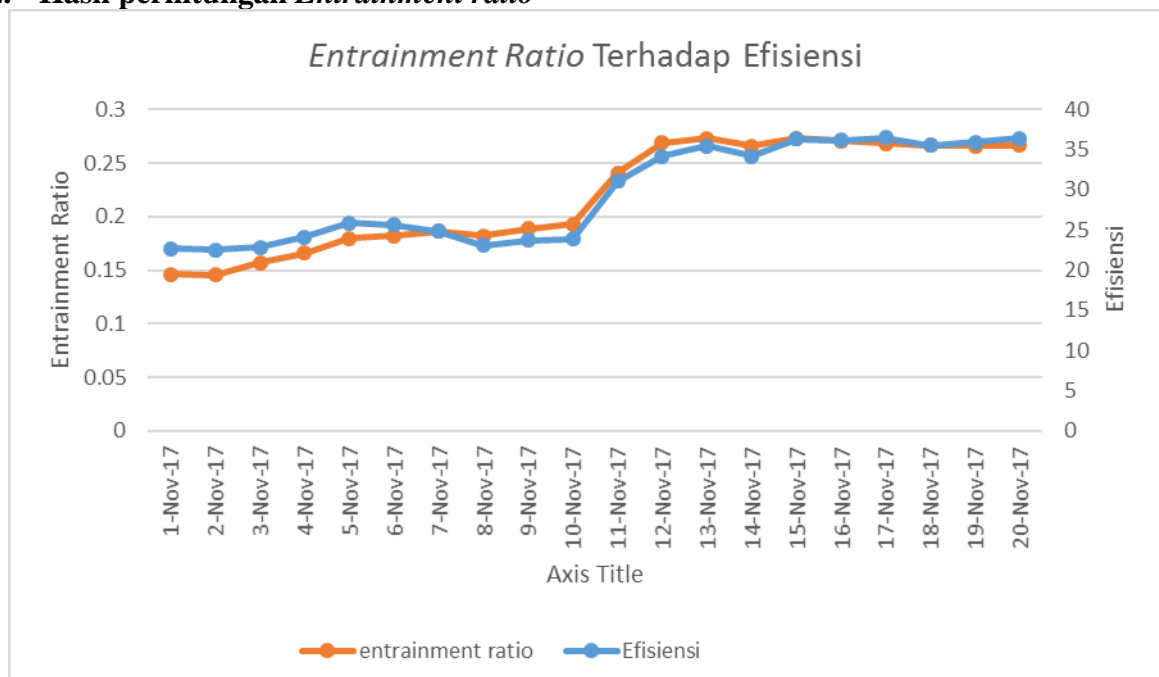
1. Hasil perhitungan Tekanan Difusser



Gambar 4.1 Grafik Tekanan Difusser terhadap efisiensi

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa nilai efisiensi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya nilai tekanan diffuser. Meningkatnya tekanan diffuser yang dimulai dari tanggal 11 November 2017 disebabkan karena telah dilakukan Overhaul (OH) pada peralatan *steam jet ejector*. Semakin tinggi tekanan yang terjadi pada *diffuser* maka akan semakin meningkat kinerja dari *steam jet ejector*. Dan jika terjadi penurunan pada tekanan *diffuser* dikarenakan beberapa parameter seperti kenaikan nilai tekanan dan temperatur dari uap penggerak.

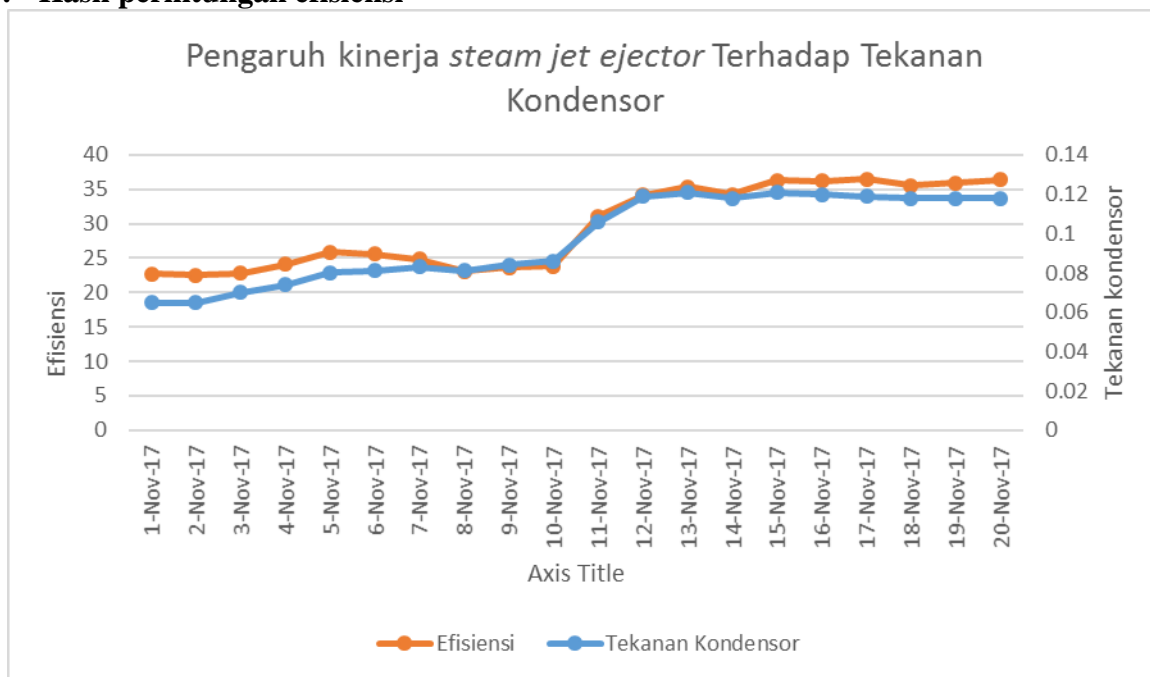
2. Hasil perhitungan *Entrainment ratio*



Gambar 4.2 Grafik *Entrainment ratio* terhadap efisiensi

Pada kondisi operasi *steam jet ejector*, nilai *entrainment ratio* dipengaruhi oleh beberapa parameter, yaitu laju aliran massa uap penggerak dan laju aliran massa uap atau gas yang dihisap. Semakin tinggi nilai *entrainment ratio*, maka akan semakin banyak *Non Condensable Gas* yang dihisap oleh *steam jet ejector*. Semakin banyak *Non Condensable Gas* yang dihisap dari *steam jet ejector* maka akan semakin terjaga tekanan vakum dalam kondensor. Meningkatnya nilai *entrainment ratio* yang terjadi pada tanggal 11 November 2017 disebabkan karena telah dilakukan Overhaul pada *steam jet ejector*. Dan semakin meningkatnya nilai *entrainment ratio* maka kinerja dan efisiensi dari kinerja *steam jet ejector* semakin meningkat. Namun, temperatur *Non Condensable Gas* yang semakin besar dapat menurunkan nilai efisiensi. Dan dapat dilihat terjadi penurunan nilai *entrainment ratio* pada hari ke-8, hal ini disebabkan oleh menurunnya laju aliran massa dari uap penggerak *steam jet ejector* sehingga *Non Condensable Gas* yang terhisap akan semakin sedikit dan berpengaruh pada turunnya efisiensi *steam jet ejector*.

3. Hasil perhitungan efisiensi



Gambar 4.3 Grafik efisiensi terhadap tekanan kondensor

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa efisiensi dari *steam jet ejector* berbanding lurus dengan tekanan yang ada di kondensor. Jika efisiensi *steam jet ejector* naik maka tekanan kondensor akan semakin terjaga pada kondisi vakum yaitu 0,1 bar. Pada tanggal 8 November 2017 terjadi penurunan efisiensi *steam jet ejector* sebesar 2%, hal ini disebabkan oleh naiknya tekanan uap penggerak sehingga laju aliran massa menjadi berkurang dan menyebabkan nilai *entrainment ratio* turun, turunnya tekanan diffuser, dan naiknya suhu *Non Condensable* yang dihisap oleh *steam jet ejector*. Turunnya efisiensi juga berpengaruh pada tekanan dalam kondensor, tekanan menjadi dibawah 0,1 bar.

V. KESIMPULAN

- Prinsip kerja *steam jet ejector* adalah mengubah energi tekanan uap penggerak menjadi energi kecepatan yang dikonversikan oleh *nozzle*.
- Kemampuan kinerja dari *steam jet ejector* dipengaruhi oleh nilai *entrainment ratio*, karena semakin tinggi nilai *entrainment ratio* menandakan bahwa *Non Condensable Gas* yang terhisap dari dalam kondensor semakin banyak. Kenaikan nilai *entrainment ratio* sebesar 0,12 dapat meningkatkan efisiensi *steam jet ejector* sebesar 14%.
- Efisiensi *steam jet ejector* berpengaruh pada tekanan vakum dalam kondensor. Efisiensi *steam jet ejector* sebesar 36% dapat menjaga tekanan vakum dalam kondensor sebesar 0,12 bar.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, 2007, "Teknologi Operasi PLTP", PT PLN (Persero) : Suralaya.
- [2] Moran, Michael J., Shapiro, H.N., dkk, "*Fundamental of Engineering Thermodynamics*", Vol. 5, John Wiley & Sons Ltd, Printed in England; 2006.
- [3] THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERING, "*Peformance Test Codes 24-1976*", THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERING, New York; 1976.
- [4] Geankoplis, Christ J., "*Transfer Processes and Unit Operations*", Vol. 3, Prentince-Hall International. Inc, New Jersey; 1993.\
- [5] Fauziyyah, Inas, "Analisis kinerja *steam jet ejector*", Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya; 2016.
- [6] El-Dessouky, Hisham., dkk, "*Evaluation of Steam Jet Ejector*", Chemical Engineering and Processing, Kuwait; 2002.
- [7] Lines, J, R., Smith, R. T., "*Ejector System Teoubleshooting*", International Journal of Hydrocarbon Engineering, England; 1997.

OTOMATISASI SISTEM PENGISIAN TANGKI AIR DI AREA GAS CONDITIONING TOWER

Achmad Febryan Akbar¹; Sonki Prasetya¹; Rum Karimak²

¹Jurusan Teknik Mesin, Konsentrasi Rekayasa Industri Semen, Politeknik Negeri Jakarta,

²Electrical RMK 2, maintenance department, PT Holcim Indonesia Tbk. Tuban Plant,

Achmadfebryan.Holcim@gmail.com

Abstrak

Menara pendingin gas (gas conditioning tower) adalah alat yang digunakan untuk mendinginkan udara panas dalam industri semen. Alat ini mempunyai sebuah tangki air. Air dalam tangki ini akan diisap oleh pompa motor lalu disemprotkan melalui beberapa nosel (nozzle) yang berada dalam menara pendingin gas. Masalah yang terjadi adalah luapan air yang melebihi kapasitas tangki. Hal ini mengakibatkan terjadinya banjir di area sekitar tangki. Terdapat beberapa penyebab terjadinya luapan air tersebut. Penyebab yang pertama yaitu jenis katup yang digunakan sebelumnya tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan. Spesifikasi yang dibutuhkan yaitu katup harus dapat menutup dengan rapat. katup yang digunakan sebelumnya yaitu katup angkat (lift check valve). Katup ini tidak cocok sebagai katup penutup. Katup ini seharusnya digunakan sebagai pencegah aliran balik. Penyebab yang kedua adalah pelampung yang tidak dapat mengatur buka tutup katup dengan sempurna. Pelampung yang digunakan yaitu kontrol level model pelampung bola (ball floater). Pelampung ini cenderung tidak stabil dan kurangnya gaya untuk menggerakkan katup angkat. penyebab yang ketiga yaitu penggunaan sistem otomatisasi dengan prinsip kerja mekanik, dimana pemantauan kinerja katup dan tinggi air hanya dapat dilakukan langsung dari tangki.

Untuk mengatur semua sistem diatas berfungsi sesuai dengan target secara otomatis, maka kontrol logika terprogram (Programmable Logic Controller) digunakan sebagai pengendali dari sistem ini. Studi ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan sistem pengisian tangki air di area gas conditioning tower secara otomatis menggunakan PLC serta menganalisis masalah yang terjadi sebelum penerapan. Hal ini bertujuan untuk mengurangi biaya penggunaan air dan mempermudah pengawasan dari ruang kontrol pusat (Central Control Room).

Pengamatan studi dilakukan dengan memperhitungkan berbagai aspek seperti jenis katup yang tepat dan pengujian efektifitas katup. Hasil yang didapat dari penggunaan katup angkat, dari bulan oktober sampai bulan desember yaitu terjadi kebocoran sebanyak 104 kali dengan total waktu 441,8 jam. Sedangkan setelah menggunakan katup bola, dari bulan januari sampai maret belum terjadi kebocoran sama sekali. Hasil yang didapat dari penerapan sistem otomasi ini dapat mengurangi biaya penggunaan air dan biaya bahan kimia yang dipakai untuk campuran air

Kata kunci: lift check valve, ball valve, gas conditioning tower, tangki air, kebocoran.

Abstract

Gas conditioning tower is a equipment used to cool hot air in the cement industry. This tool has a water tank. The water in this tank will be sucked by the motor pump and then sprayed through some nozzle in the gas conditioning tower. The problem is the overflow of water that exceeds the tank capacity. This results in flooding in the area around the tank. There are several causes of the occurrence of the water flood. The first cause is the type of valve used previously not in accordance with the required specifications. The required specification of the valve should be able to close tightly. The previous valve is the lift check valve. This valve is not suitable as a closing valve. This valve should be used as a backflow prevention. The second cause is a float that can not manage to open the valve cover perfectly. The float used is the level control of the ball floater model. These floats tend to be unstable and lack the force to drive the lift check valve. the third cause is the use of automation system with mechanical working principle, where the monitoring of valve performance and water level can only be done directly from the tank.

To set all the above systems to function in accordance with the target automatically, then Programmable Logic Controller (PLC) is used as the controller of this system. This study aims to design and implement a water tank filling system in the conditioning conditioning tower area automatically using PLC and analyzing problems that occur before implementation. It aims to reduce the cost of water use and facilitate the supervision of the Central Control Room.

Study observations were conducted by taking into account various aspects such as the right type of valve and valve effectiveness testing. The results obtained from the use of lift check valve, from October to December declared 104 times with a total time of 441.8 hours. Meanwhile, after using the ball valve, from January to March no leak has occurred at all. The results obtained from the implementation of this automation system can reduce the cost of water use and the cost of chemicals used for water additives.

Keywords: lift check valve, ball valve, gas conditioning tower, water tank, leakage.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di dalam suatu pabrik semen terdapat *gas conditioning tower*. Alat ini digunakan untuk mendinginkan gas panas sebelum masuk ke *bag filter*. *Gas Conditioning Tower Running* apabila *Raw Mill stop* dan pada saat itu juga *kiln* masih dalam posisi *Running*. Fungsi *Gas Conditioning Tower* sebagai pendingin gas panas yang keluar dari *Kiln*, *Cooler* dan *Preheater*[1]. Di dalam *Gas Conditioning Tower* terdapat beberapa *nozzle* yang menyemburkan udara dan air. Udara digunakan untuk mengkabutkan air sehingga proses *cooling* merata. Jika air dalam tangki habis maka *Kiln* harus *distop* untuk mencegah gas panas merusak *Bag Filter* bahkan dapat keluar ke udara bebas dan berbahaya bagi lingkungan. air tersebut berasal dari tangki yang berada di bawah *GCT* sedangkan udara berasal dari *compressor*.

Tangki air 422-CT1 diisi dari satu *line* pipa dengan satu *unit valve*. Air dari tangki didistribusikan menggunakan salah satu dari dua unit *motor pump*. Jika satu unit *motor pump* tidak bekerja dapat digantikan dengan *motor pump* yang lain.

Masalah yang paling sering terjadi pada tangki air 422-CT1 adalah meluapnya *level* air hingga melebihi batas maksimal tangki, Sehingga mengakibatkan adanya genangan air di area sekitar tangki. Jika hal tersebut terus terjadi maka dapat menambah biaya pemakaian air. Bukan hanya itu, cairan kimia untuk campuran air juga akan terbuang percuma.

Saat masalah itu terjadi, maka karyawan produksi harus menangani dengan segera. Hal yang dilakukan selama ini adalah dengan mengikat tuas pelampung pada sesuatu. Hal itu dinilai cukup efektif untuk menutup aliran air. Tapi jika *Raw Mill* tiba-tiba *stop* maka karyawan produksi harus segera membuka *valve* jangan sampai air dalam tangki habis.

Valve yang digunakan sebelumnya adalah *Lift Check Valve* dengan tuas yang dihubungkan secara mekanik dengan pelampung. Masalah yang terjadi adalah *valve* tidak dapat menutup sempurna sehingga air dapat melewatinya. *Improvement* yang akan dilakukan yaitu mengganti *lift check valve* dengan *Ball Valve*. Hal tersebut diharapkan dapat mencegah air meluap seperti yang terjadi sebelumnya.

Dalam proses instalasinya Terdapat dua indikasi *level* yaitu *medium* dan *high*. Indikasi ini terhubung dengan PLC. Sistem ini beroperasi menggunakan *rotary rack and pinion actuator* sebagai aktuator dengan *input pressure* 5,6 bar untuk memutar ball valve, sedangkan system kontrolnya memakai *solenoid* yang terhubung ke PLC. Di atas *valve* terdapat dua *limit switch* sebagai indikasi *valve open* dan *closed*.

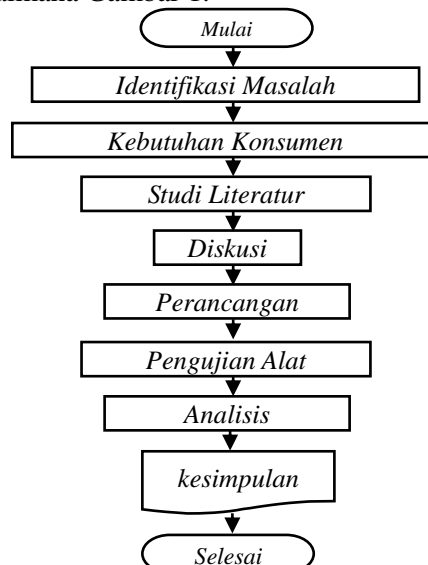
1.2. Tujuan

1. Melakukan pemilihan ulang *valve* untuk mencegah terjadinya kebocoran.
2. Membuat sistem kontrol untuk mengatur dan mengawasi operasi *valve* dari CCR.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Alir Perancangan

Metode yang digunakan digambarkan dengan diagram alir otomatisasi sistem pengisian air untuk mencegah luapan air tangki di 422-CT1 sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir

2.2. Penjelasan Diagram Alir Perancangan

1) Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan pengamatan pada sistem pengisian tangki air di 422-CT1 yang meluap melebihi kapasitas tangki. Mengamati mengapa hal itu bisa terjadi dan mencari sumber utama masalah tersebut. Pada tahap ini pula dilakukan observasi mengenai sistem pengisian air yang dapat mencegah masalah tersebut terjadi kembali. Fungsi observasi adalah untuk mencari masalah, hambatan dan data awal dalam proses proses pengisian air. Beberapa aktifitas observasi sebagai berikut:

a) Kajian penyebab dari masalah.

Kajian yang pertama dilakukan yaitu mencari penyebab utama dari masalah yang terjadi. Berikut ini root cause analisis dari kebocoran *valve*.

Tabel 1. Pemecahan masalah

Akar Masalah	Pemecahan Masalah	Catatan
1. Tipe valve tidak direkomendasikan sebagai katup penutup aliran.	1.Penggantian tipe valve dari lift check valve menjadi ball valve.	1.Ball valve actuator unit VZBA-4"-GG-63-T-22-F10-V4V4T-PS240-R-90-4-C.
2.Terdapat kerak kapur dan karat pada plug.	2.Penggunaan ball valve yang tahan karat dan kerak kapur.	2.Terdapat lapisan chrome pala bola.
3.Kurangnya gaya dari tuas pelampung.	3.Penggunaan rotary rack and pinion actuator sebagai penggerak valve.	3.Aktuator pneumatik dengan input 5,6 sampai 8,4 bar

b) Kelebihan dan kekurangan desain awal

Berikut ini kekurangan dan kelebihan sistem otomatisasi dengan prinsip kerja mekanik.

-Kekurangan:

- Valve tidak dapat menutup rapat.
- Pengoperasian alat hanya dapat dipantau secara langsung dari area tersebut.

-Kelebihan:

- Design simpel.
- Fabrikasi dan pemasangan mudah.

c) Memeriksa kondisi bagian-bagian pada *valve* dan pelampung.

d) Melakukan pengukuran bagian pipa dan *flange* untuk data pengukuran seperti pada gambar 3.3.

2) Kebutuhan Konsumen

Menggali data tentang kebutuhan konsumen. Konsumen dalam hal ini adalah Departemen Produksi dan Maintenance. Dari pihak terkait, didapatkan kebutuhan dari masing-masing konsumen yang mungkin berbeda prioritas kepentingan. Pembasan tentang kebutuhan konsumen akan dibahas pada BAB IV.

3) Studi Literatur

Mengumpulkan data dan informasi terkait tugas akhir ini, baik dalam buku, jurnal, maupun sumber informasi lainnya. Penerapan metode ini digunakan untuk mempelajari dan mendapatkan spesifikasi alat, teori-teori serta data penunjang yang berkaitan dengan permasalahan.

4) Diskusi

Diskusi dilakukan untuk mengembangkan informasi yang didapat dari pelaksanaan observasi, kebutuhan konsumen dan hasil studi literatur. Diskusi dilakukan dengan pembimbing lapangan, dosen pembimbing, teman di EVE maupun mahasiswa, pihak yang kompeten dibidangnya dan pihak lain yang terkait, seperti pihak *Electric*, Produksi dan Mekanik. Dengan diskusi diharap ide-ide baru muncul untuk menemukan solusi untuk mengatasi masalah yang terjadi. Diskusi membahas tentang masalah-masalah yang terjadi mengenai meluapnya air tangki. Selain pembahasan masalah, diskusi ini dilakukan untuk menemukan solusi penyelesaian masalah.

5) Perancangan

Setelah kebutuhan konsumen didapat, selanjutnya dilakukan perencanaan. Perancangan berdasarkan perhitungan matematis untuk mengetahui kebutuhan, kelayakan dan kesesuaian rancangan. Perancangan tersebut meliputi:

- a) Prinsip kerja alat.
- b) Perancangan hardware
- c) Perancangan pneumatik
- d) Perancangan Distributed Control System (DCS)

6) Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan untuk mengetahui apakah modifikasi yang dilakukan tidak menimbulkan masalah yang sama dan masalah baru. Pengujian yang dilakukan meliputi:

- a) Pengujian waktu pengisian dan pengosongan air.
- b) Pengujian waktu berpindah dari *open to close* dan *close to open*.
- c) Pengujian tinggi level air terhadap kerja pelampung

7) Analisis

Analisis dilakukan dengan cara menganalisis kerugian saat terjadi kerusakan sebelum pelaksanaan tugas akhir. Analisis kerugian dilihat dari segi biaya.

2.3. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Tugas Akhir

Tempat pelaksanaan tugas akhir ini dilakukan di PT Holcim Indonesia Tbk Pabrik Tuban tepatnya di *Conditioning Tower Area*. Waktu pelaksanaan Tugas Akhir dilakukan mulai bulan November 2017 sampai Juni 2018.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Kebutuhan Konsumen

Pembuatan sistem otomatisasi pengisian air dilatarbelakangi oleh kondisi *valve* yang tidak dapat menutup sempurna, serta bertujuan untuk mempermudah pengawasan dan pengaturan kerja alat dari CCR, oleh karena itu proses pembuatan sistem pengisian tangki air ini disesuaikan dengan kriteria konsep rancangan yang telah disusun berdasarkan kebutuhan konsumen.

Kriteria konsep rancangan *valve* yang telah disusun diantaranya:

1. *Valve* yang dapat menutup dengan rapat.
2. Tahan terhadap karat dan kerak kapur.
3. Mampu menahan air bertekanan tinggi.
4. Waktu bertukar yang singkat.
5. Harga setiap komponen alat dapat dijangkau.

Kriteria konsep rancangan sensor *level* yang telah disusun diantaranya:

1. Harga alat dapat dijangkau.
2. Bekerja menggunakan *digital input*.
3. Ketelitian pembacaan *level*.

3.2. Desain

Instalasi suatu sistem pengisian air ini terdapat dua komponen utama yaitu *valve* dan pelampung. Berikut ini konsep desain dari *valve* dan pelampung.

3.2.1. Konsep Desain Valve

Setelah mengetahui kriteria konsep rancangan yang telah ditentukan, maka dapat menyusun konsep desain *valve* yang akan pakai, yaitu diantaranya :

1. Konsep Pertama

Konsep yang pertama yaitu menggunakan *gate valve*. *Gate valve* ini digerakkan oleh satu *unit* silinder kerja ganda bertenaga pneumatik.

2. Konsep kedua

Konsep yang kedua yaitu menggunakan *butterfly valve*. *Butterfly valve* ini digerakkan oleh satu *unit Rotary Actuator* bertenaga pneumatik.

3. Konsep ketiga

Konsep yang ketiga yaitu menggunakan *ball valve*. *Ball valve* ini digerakkan oleh satu *unit Rotary Actuator*.

3.2.2. Pemilihan Desain Valve

Setelah dilakukan proses pembuatan desain, maka perlu dilakukan pemilihan desain yang sesuai dengan kriteria konsep rancangan yang telah dibuat sebelumnya, hal ini dilakukan dengan menggunakan media tabel pembobotan, seperti pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Tabel pembobotan *valve*

No.	Aspek Penilaian	Bobot (%)	Konsep					
			1		2		3	
			Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)
1	<i>Valve</i> yang dapat menutup dengan rapat.	25	4	20	4	20	5	25
2	Tahan terhadap karat dan kerak kapur	25	4	20	4	20	5	25

3	Mampu menahan air bertekanan tinggi.	20	3	12	2	8	3	12
4	Waktu bertukar yang singkat	20	3	12	4	16	4	16
5	Harga setiap komponen alat dapat dijangkau	10	5	10	5	10	4	8
Total Nilai		100		74		74		86

Tabel 2 menjelaskan bahwa: desain yang paling aplikatif dan sesuai dengan kriteria konsep rancangan adalah konsep ketiga.

3.2.3. Konsep Desain Sensor Level

Setelah mengetahui kriteria konsep rancangan yang telah ditentukan, maka kita dapat menyusun konsep desain indikator level yang akan pakai, yaitu diantaranya:

1. Konsep Pertama

Konsep yang pertama yaitu menggunakan *float switch*. *Float switch* ini hanya menggunakan prinsip kerja open dan close.

2. Konsep Kedua

Konsep yang kedua yaitu menggunakan *electrode level sensor*. Prinsip kerja dari detektor ini adalah perubahan resistansi antara elektrode dengan air sebagai media penghantarnya.

3. Konsep ketiga

Konsep yang ketiga yaitu menggunakan sensor ultrasonik. Prinsip kerja sensor ultrasonik ini yaitu dengan memancarkan gelombang ultrasonik dari suatu transmitter lalu gelombang tersebut dibaca oleh sebuah *receiver*.

3.2.4. Pemilihan desain

Setelah dilakukan proses pembuatan desain, maka perlu dilakukan pemilihan desain yang sesuai dengan kriteria konsep rancangan yang telah dibuat sebelumnya, hal ini dilakukan dengan menggunakan media tabel pembobotan, seperti pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Tabel pembobotan sensor level

No.	Aspek Penilaian	Bobot (%)	Konsep					
			1		1		1	
			Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai Bobot (%)	Nilai (1-5)	Nilai x Bobot (%)
1	Harga alat dapat dijangkau.	50	5	50	3	30	2	20
2	Bekerja menggunakan digital input.	30	4	24	4	24	2	12
3	Ketelitian pembacaan level.	20	3	12	4	16	5	20
Total Nilai		100		86		70		52

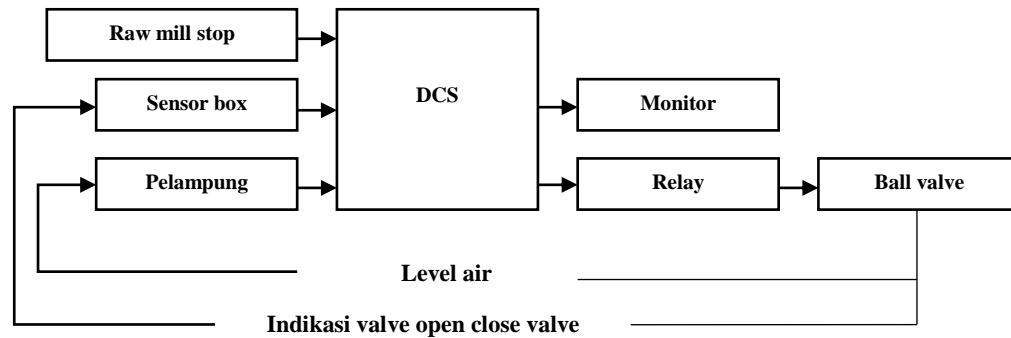
Tabel 3 menjelaskan bahwa: desain yang paling aplikatif dan sesuai dengan kriteria konsep rancangan adalah konsep pertama.

3.3. Perancangan Alat Tugas Akhir

Pada tahap perancangan alat, dilakukan pembuatan rangkaian sesuai dengan konsep desain yang telah ditentukan, hal ini ditujukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Beberapa tahapan perancangan sistem pengisian air diantaranya:

3.3.1. Prinsip Kerja Alat

Tahap pertama dalam perancangan suatu sistem adalah pembuatan prinsip kerja. Prinsip kerja dari sistem pengisian tangki air ini ditunjukkan pada diagram blok pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok

Sistem alat ini menggunakan *distributed control system* (DCS) sebagai pengendali utamanya. Sistem ini *interlock* dengan *raw mill*, jadi ketika *raw mill stop* maka secara langsung *valve* akan terbuka. Terdapat empat sinyal input yang masing-masing digunakan sebagai pembacaan *level air* dan sebagai indikator *open close* pada *ball valve*, kemudian sinyal tersebut masuk melalui terminal I/O module dan diolah didalam *distributed control system* (DCS). Sebagai *output* digunakan sebuah *solenoid* sebagai pemicu berpindahnya posisi *ball valve*. Sebagai sinyal *output* juga digunakan monitor untuk menampilkan program yang sedang berjalan.

Prinsip kerja alat ini dimulai ketika *raw mill stop*. Lalu modul *digital output* (DO) mengaktifkan *relay*, dari *relay* tersebut sinyal listrik 24VDC menuju ke *solenoid* dan membuka *ball valve*. Ketika *ball valve* terbuka penuh maka *sensor box* akan memberi indikasi bahwa *ball valve* telah terbuka. Dari indikasi tersebut dapat diketahui berapa waktu yang dibutuhkan untuk pengisian air.

Pada saat pengisian sudah mencapai *high level* maka *level switch* akan mengindikasikan bahwa air sudah penuh. Lalu *valve* akan menutup dan *sensor box* memberikan indikasi bahwa *valve* telah tertutup serta menampilkan waktunya. Lalu *valve* akan terbuka lagi ketika *medium level* dan seterusnya.

3.3.2. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik ini bertujuan untuk menentukan spesifikasi alat yang akan digunakan serta menentukan posisi dimana alat-alat tersebut akan ditempatkan.

1. Pemilihan Tipe Ball Valve

Pipa yang digunakan sebagai sumber pengisian tangki mempunyai diameter 100mm. Jadi yang selanjutnya dilakukan yaitu memilih spesifikasi *ball valve* dengan tipe sesuai pipa tersebut. Tipe *ball valve* produk dari festo ditampilkan pada tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi *ball valve*[2]

Type	B1	D ∅	H1	H2	H3	L1	L2	≈G 2
VZBA-4"-GG-63-T-22-F10-V4V4T-PS240-R-90-4-C	134.9	100	272.9	210.9	30	520.5	240	19

Jadi *ball valve* yang digunakan yaitu *ball valve actuator unit* VZBA-4"-GG-63-T-22-F10-V4V4T-PS240-R-90-4-C.

Setelah mengetahui menentukan tipe *ball valve* maka dapat diketahui dimensi *flange* yang digunakan sebagai penghubung *ball valve* dengan pipa.

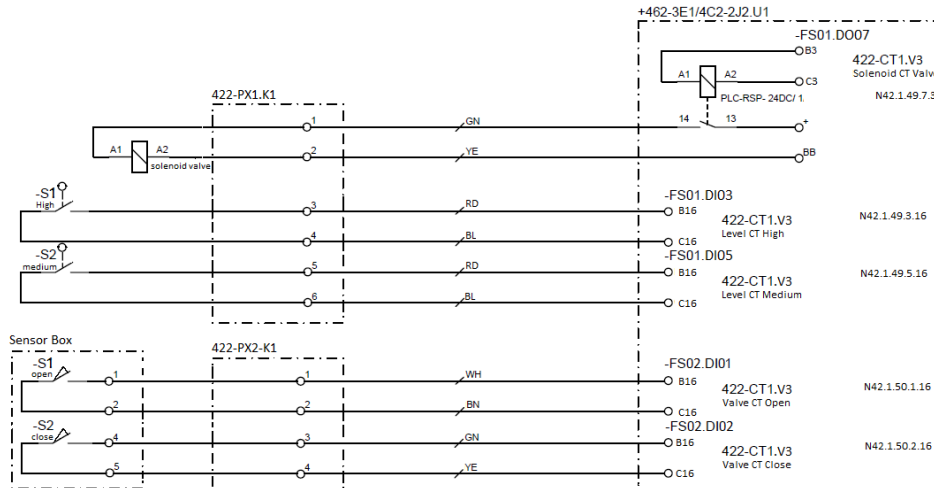
2. Penentuan Posisi *Float Switch*

Penentuan posisi *float switch* ini harus pada posisi yang aman, pastikan jika *float switch* mengapung tidak melebihi tinggi tangki. Jika posisinya terlalu tinggi maka luapan air akan terjadi kembali.

Setelah posisi *float switch* diatur maka dapat diukur pada *level* berapa alat itu bekerja. Jadi *float switch medium* bekerja ketika berada 540mm dari puncak tangki dan *float switch high* bekerja ketika berada 130mm dari puncak tangki. Sedangkan tinggi adalah 1020mm.

3.3.3. Perancangan Hardware

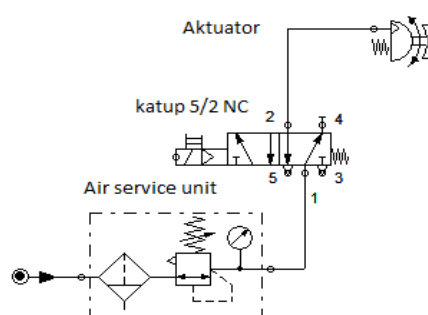
Perancangan dan pembuatan *hardware* ini meliputi beberapa blok komponen, antara lain solenoid, dua *float switch*, *sensor box* dengan dua *limit switch* dan rangkaian *I/O module*. Instalasi rangkaian pengisian tangki air ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3. Wiring diagram tangki air

3.3.4. Perancangan Pneumatik

Perancangan dan pembuatan rangkaian pneumatik ini meliputi beberapa blok komponen, antara lain air service unit (ACU), katup 5/2 NC dengan penggerak solenoid dan pegas lalu sebagai aktuatornya adalah *rotary rack and pinion actuator single acting*. Rangkaian pneumatik pengisian tangki air ditampilkan pada gambar 4.

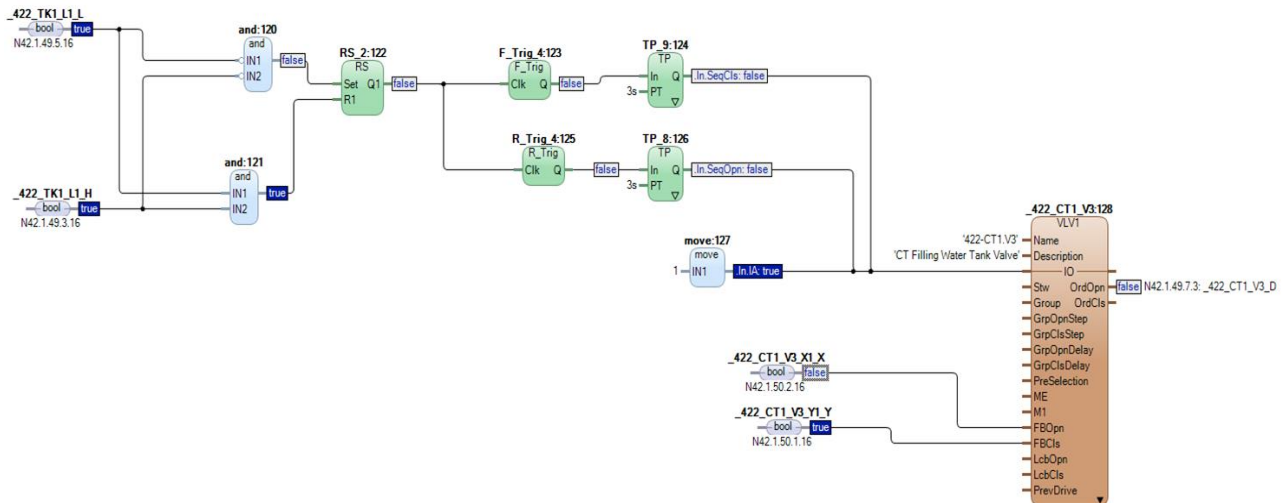


Gambar 4. Rangkaian pneumatik

3.3.5. Perancangan Distributed Control System (DCS)

Secara dasar kontrol pada DCS menyerupai sistem kontrol pada PLC, hanya saja perbedaan terletak pada modul-modul yang digunakan. Hal ini di sebabkan adanya penggunaan display keseluruhan sistem *plant* dan juga komunikasi pada DCS. Selain terkoneksi pada HMI (*Human Machine Interface*), DCS juga membawahi kinerja sistem PLC, selain dalam hal pemrograman dan segi komunikasi pun kompleks. Digunakannya modul-modul I/O pun dibedakan menjadi dua jenis, yaitu digital dan analog.

Perancangan rangkaian PLC ini menggunakan aplikasi *Control Builder M Professional* versi 5.1.1 dengan bahasa pemrograman menggunakan *Function Block Diagram (FBD)* sedangkan untuk *display*-nya menggunakan ABB 800XA DCS Operator Interfaces. Desain program PLC terdapat pada gambar 5.



Gambar 5. Desain program PLC

Gambar 5 menjelaskan tentang prinsip kerja rangkaian PLC sebagai berikut:

1. Saat kondisi *level* tangki air rendah, **pelampung high** mengindikasikan (**FALSE**) dan **pelampung medium** mengindikasikan (**FALSE**) maka **Ball Valve** terbuka (**TRUE**).
2. Ketika **Ball Valve** sudah pada posisi terbuka maka **limit switch open indicator** mengindikasikan (**TRUE**) sehingga CCR mengetahui bahwa **Ball Valve** sedang dalam posisi terbuka.
3. Setelah **Ball Valve** terbuka maka level tangki air akan naik.
4. Saat kondisi level tangki air tinggi, **pelampung high** mengindikasikan (**TRUE**) dan **pelampung medium** mengindikasikan (**TRUE**) maka **Ball Valve** tertutup (**FALSE**).
5. Ketika **Ball Valve** sudah pada posisi tertutup maka **limit switch closed indicator** mengindikasikan (**TRUE**) sehingga CCR mengetahui bahwa **Ball Valve** sedang dalam posisi tertutup.
6. Setelah **Ball Valve** tertutup maka level tangki air akan turun.
7. Prinsip kerja akan berulang ketika level tangki air rendah.

3.4. Pengujian Sistem Pengisian Tangki Air

Pengujian sistem ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dari alat yang telah terpasang.

3.4.1. Pengujian Waktu Pengisian Dan Pengosongan Air

Pengujian sistem pengisian dan pengosongan air ini dilakukan menggunakan ABB 800XA DCS *Operator Interfaces* di CCR. Waktu pengisian dan pengosongan ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian waktu pengisian dan pengosongan air

No.	HAC	Indikasi	Durasi (menit)				
			1	2	3	4	5
1	422-CT1.V3	Pengisian	02:47	02:46	02:48	02:48	02:42
2	422-CT1.V3	Pengosongan	03:54	04:04	04:06	04:14	04:15

Tabel 5 menjelaskan bahwa waktu pengisian rata-rata 02 menit 46 detik dan waktu pengosongan adalah 04 menit 16 detik.

3.4.2. Pengujian Waktu Berpindah Dari *Open To Close* Dan *Close To Open*

Pengujian waktu berpindah dari *close to open* dan *open to close* pada sistem ini dilakukan menggunakan rekaman *video*. Waktu berpindah dari *close to Open* dan *open to close* ditunjukkan pada tabel 6.

Tabel 6. Pengujian waktu berpindah

No.	HAC	Indikasi	Durasi (detik)				
			1	2	3	4	5
1	422-CT1.V3	<i>close to open</i>	0,32	0,33	0,32	0,33	0,33
2	422-CT1.V3	<i>open to close</i>	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35

Tabel 6 menjelaskan bahwa waktu berpindah dari *close to open* rata-rata adalah 0,326 detik dan waktu berpindah *open to close* rata-rata adalah 0,348 detik.

3.4.3. Pengujian Tinggi Level Air Terhadap Kerja Pelampung

Pengujian tinggi level air terhadap kerja pelampung ini dilakukan menggunakan *measuring tape* yang didekatkan pada tiang pelampung. Jarak yang diukur adalah jarak antara tutup tangki dan *level* air. Tinggi *level* air terhadap kerja pelampung ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Tinggi level air terhadap kerja pelampung

No.	HAC	Jarak Yang Diukur	Panjang Jarak (mm)				
			1	2	3	4	5
1	422-CT1.V3	Antara tutup tangki dan level air medium	560	540	540	535	525
2	422-CT1.V3	Antara tutup tangki dan level air high	140	120	135	130	125

Tabel 7 menjelaskan bahwa jarak rata-rata antara tutup tangki dan level air medium adalah 540mm dan jarak rata-rata antara tutup tangki dan level air high adalah 130mm. jarak rata-rata antara level air medium dan level air high adalah 410mm atau 0,41m.

3.5. Hasil Perhitungan Debit Air

Dari pengujian melalui ABB 800XA DCS *Operator Interfaces* dapat diambil data debit air output yaitu 32,2 m³/h dan rata-rata waktu pengisian adalah 02:46 menit, sedangkan dimensi tangki dan tinggi pengisian air didapat dari pengukuran manual di lapangan. Maka debit air yang masuk dapat ditemukan dengan persamaan berikut.

Diketahui :

$$Q_2 = 32,2 \text{ m}^3/\text{h} = 0,00894 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$t = 166 \text{ s}$$

$$A = 5,5825 \text{ m}^2$$

$$h = 0,41 \text{ m}$$

Ditanya: $Q_1 = \dots ?$

Jawab :

$$(Q_1 - Q_2)t = A \cdot h \quad [\text{persamaan 1}] \quad [3]$$

$$(Q_1 - Q_2) = \frac{A \cdot h}{t} \quad [\text{persamaan 2}]$$

$$(Q_1 - 0,00894 \text{ m}^3/\text{s}) = \frac{5,5825 \text{ m}^2 \cdot 0,41 \text{ m}}{166 \text{ s}} \quad [\text{persamaan 3}]$$

$$Q_1 = 0,00894 \text{ m}^3/\text{s} + 0,013788102 \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{persamaan 4}]$$

$$Q_1 = 0,022732546854083 \text{ m}^3/\text{s} \quad [\text{persamaan 5}]$$

$$Q_1 = 81,83716867 \text{ m}^3/\text{h} \quad [\text{persamaan 6}]$$

3.6. Dampak Setelah Pemasangan Alat

Hasil yang didapat dari penggunaan *lift check valve*, dari bulan Oktober sampai bulan Desember yaitu terjadi kebocoran sebanyak 104 kali dengan total waktu 441,8 jam. Sedangkan setelah menggunakan ball valve, dari bulan Januari sampai Maret belum terjadi kebocoran sama sekali.

3.7. Perkiraan Biaya Kembali

Hasil yang didapat dari penerapan sistem pengisian tangki air ini yaitu dapat mengurangi biaya penggunaan air dan biaya bahan kimia yang dipakai untuk campuran air. Keuntungan menggunakan sistem ini dapat diketahui dengan membandingkan biaya pembelian alat yang terdapat pada Tabel 8 dan biaya pemborosan bahan kimia yang dipakai yang terdapat pada Tabel 9 lalu ditambah dengan biaya pajak air bawah tanah (ABT).

Tabel 8. Biaya pembelian alat

Item	Keterangan	Price/Unit (Rp)	Qty	Total (Rp)
1	Ball valve actuator unit	Rp 27.437.753	1	Rp 27.437.753
2	solenoid valve	Rp 910.284	1	Rp 910.284
3	solenoid coil	Rp 152.586	1	Rp 152.586
4	Socket connector	Rp 37.144	1	Rp 37.144
5	sensor box	Rp 795.191	1	Rp 795.191
Net Total				Rp 29.332.958
PPN 10%				Rp 2.933.296
Total				Rp 32.266.254

Tabel 9. Biaya cairan kimia

Cairan kimia	Takaran	Harga per 20 Ltr	Biaya cairan kimia per kubik air
Anti scalant	30 ppm	Rp 1.761.194	Rp 53

Corrosion inhibitor	100 ppm	Rp 1.921.302	Rp 192
Biocide	100 ppm	Rp 2.241.519	Rp 224
Biaya per m ³			Rp 469
Biaya per jam (81,8m ³)			Rp 38.374
Biaya per bulan (kebocoran rata-rata =147 jam)			Rp 5.640.955

Pajak penggunaan air bawah tanah

Pajak yang dilaporkan = harga dasar air x volume pengambilan x 20%
 = Rp 780 per m³ [4] x 12024,6 m³ x 20%
 = Rp 1.875.838

Jadi total biaya yang diakibatkan kebocoran valve sebagai berikut

Total biaya = Biaya pajak ABT + Biaya cairan kimia
 = Rp 1.875.838 + Rp 5.640.955
 = Rp 7.516.793

Berdasarkan data dari Tabel 4.6 dan Tabel 4.7, dapat dihitung waktu yang diperlukan untuk menutupi biaya pembelian alat dengan rumus berikut :

Waktu = Biaya Pembelian Alat / Biaya operasional yang dihilangkan
 = Rp 32.266.254 / Rp 7.516.793 / Bulan
 = 4 Bulan 8 Hari

Jadi waktu yang diperlukan untuk menutupi biaya pembelian alat adalah 4 bulan 8 hari sejak alat untuk otomatisasi sistem pengisian tangki air ini dipasang, untuk selanjutnya didapatkan manfaat dari pemasangan alat tersebut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil tugas akhir otomatisasi sistem pengisian tangki air di area *gas conditioning tower* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Penggunaan *ball valve* pada sistem pengisian tangki air dinilai mampu mengatasi masalah kebocoran. *Ball valve* merupakan tipe *valve* yang tepat dalam penutupan aliran air. Keunggulan lain yang dimiliki *ball valve* adalah ketahanan terhadap karat dan kerak kapur. *Rotary rack and pinion aktuator* dipilih sebagai penggerak *ball valve*. Aktuator ini dapat bekerja dengan udara bertekanan 5,6 bar sampai 8,4 bar. Tekanan yang dipakai sekarang adalah 5,6 bar, tekanan yang rendah dipakai supaya dapat memperpanjang usia pemakaian, jika *valve* tidak mampu bekerja maka input udara dapat ditambah sesuai kebutuhan. Hasil yang didapat dari penggunaan *lift check valve*, dari bulan Oktober sampai bulan Desember yaitu terjadi kebocoran sebanyak 104 kali dengan total waktu 441,8 jam. Sedangkan setelah menggunakan *ball valve*, dari bulan Januari sampai Maret belum terjadi kebocoran sama sekali. Hasil yang didapat dari penerapan sistem otomasi ini dapat mengurangi biaya penggunaan air dan biaya bahan kimia yang dipakai untuk campuran air.
2. Setelah sistem otomatisasi pengisian tangki air ini diterapkan, pengawasan proses kerja alat dapat dilakukan dari *central control room (CCR)*. *Monitoring* dilakukan menggunakan *ABB 800XA DCS Operator Interfaces* dan diprogram menggunakan *Control Builder M Professional* versi 5.1.1 dengan *Function Block Diagram (FBD)* sebagai bahasa pemrograman, bila lampu indikator berwarna hijau maka *valve* pada posisi terbuka dan bila lampu indikator mati maka *valve* pada posisi tertutup. Data waktu buka dan tutup ter-*record* dalam sistem. Data tersebut dapat ditampilkan dalam bentuk tabel atau bentuk grafik. Data yang diperoleh yaitu waktu pengisian rata-rata 02 menit 46 detik dan waktu pengosongan adalah 04 menit 16 detik. Waktu tersebut dapat berubah-ubah tergantung pada debit air *input*, debit air *output*, lama waktu *valve* berputar dan pembacaan *level* pelampung yang kurang stabil.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. H. Duda, *Cement Data Book 1*. Berlin: French & European Pubns, 1985.
- [2] Festo, "Ball valve actuator units VZBA," vol. 8, ed. Esslingen: festo, 2016.
- [3] L. H. Indra Saputra, Sri Ratna S, "Perancangan Water Level Control Menggunakan PLC Omron Sysmac C200H Yang Dilengkapi Software SCADA Wonderware InTouch 10.5," *Jurnal Rekayasa dan Teknologi Elektro*, vol. 7, 2013.
- [4] (2017). *Surat Pemberitahuan Pajak Daerah (SPTPD) Pajak Air Bawah Tanah*.

PROTOTIPE SMART TRAFFIC LIGHT SYSTEMAbdullah Arif Nugroho^{1,2}; Naufal Mushlih Muhyiddin^{1,2}; Rika Novita Wardhani^{1,2}; Ibrahim Hakim Kresno^{1,2}¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta²LNG Academy, PT Badak NGL
muhyiddinnaufal@gmail.com**Abstrak**

Pada umumnya, sistem lampu lalu lintas hanya menggunakan waktu tertentu untuk mengatur lalu lintas kendaraan, dengan format perhitungan waktu yang sama untuk setiap persimpangan yang ada. Jumlah kendaraan yang lewat pada setiap persimpangan tidak selalu sama jumlahnya, ada sisi persimpangan yang sangat ramai dan ada persimpangan yang sepi kendaraan, namun walaupun begitu lama waktu penyalaan lampu lalu lintas tetap sama pada setiap persimpangan, sehingga sering kali terjadi penumpukan kendaraan pada salah satu sisi jalan yang berujung pada kemacetan. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem lampu lalu lintas cerdas menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560 AT Mega 2560 yang akan secara otomatis bekerja berdasarkan jumlah kendaraan yang melintas pada setiap persimpangan dan sensor yang digunakan untuk mendeteksi jumlah kendaraan yang melintas adalah sensor ultrasonik. Pada penerapannya, sensor ultrasonik akan melakukan penghitungan jumlah kendaraan pada saat persimpangan tersebut mengaktifkan lampu warna merah. Pada sistem ini durasi penyalaan lampu lalu lintas tidak konstan tetapi dapat berubah-ubah mengikuti jumlah kendaraan yang terdeteksi oleh sensor. Jumlah kendaraan yang terdeteksi oleh sensor akan di konversi menjadi lama penyalaan lampu hijau, semakin banyak kendaraan yang terdeteksi maka akan semakin lama pula lama waktu penyalaan lampu hijau, begitu juga sebaliknya. Metode yang digunakan untuk mengatur lamanya waktu ini adalah algoritma logika fuzzy dengan penalaran fuzzy metode Mamdani menggunakan software Matlab. Hasil pengujian berdasarkan data hasil simulasi logika fuzzy di MatLab menunjukkan bahwa algoritma logika fuzzy dapat digunakan untuk memenuhi tujuan pengaturan lalu lintas secara optimal, yaitu durasi waktu yang diberikan didasarkan pada jumlah kendaraan. Semakin banyak kendaraan yang terdeteksi oleh sensor maka semakin lama durasi waktu yang diberikan, dan sedikit kendaraan yang terdeteksi oleh sensor semakin sebentar durasi waktu yang diberikan.

Kata kunci: Lampu Lalu lintas, Logika Fuzzy, Mikrokontroler

Abstract

In General, the traffic light system only used certain amount of time to regulate vehicle traffic with the same time format for each intersection. The number of vehicles at each intersection is not always the same, there is a very crowded intersection and there is a lonely intersection of vehicles, but the timing of the traffic light remains the same at each intersection. So there is often a buildup of vehicles on one side of the road that culminates in congestion. This study focuses on the development of smart traffic light systems using Arduino Mega 2560 AT Mega 2560 microcontroller which will automatically work based on the number of vehicles and the sensor which used to count the number of vehicles that passing through each intersection is ultrasonic sensors. On the application, ultrasonic sensors will calculate the number of vehicles at the time the intersection enables the red lamp. The number of vehicles that detected by the sensors will be converted into long green lights, the more vehicles that detected by the sensors, it will be longer the time of turning on the green light, and vice versa. In this system the duration of the traffic light is not constant but follows the number of vehicles detected by the sensor. The method used to adjust this time length is a fuzzy logic algorithm with the Mamdani fuzzy reasoning using Matlab software. Test results based on the simulation of fuzzy logic in MatLab show that the fuzzy logic algorithm can be used to meet the goal of optimal traffic control, the duration of a given time based on number of vehicles. The higher number of vehicle that are detected by sensor, the longer the duration of a given time, and the lower vehicle, the more briefly given time duration.

Keyword: Traffic Light, Fuzzy Logic, Microcontroller

I. PENDAHULUAN

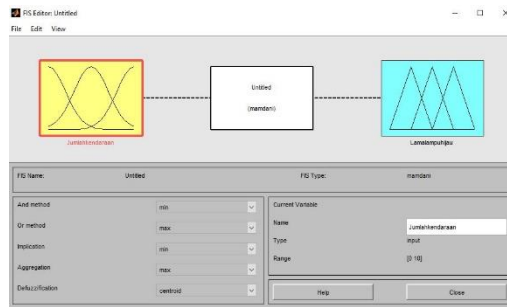
Latar belakang

Di kompleks perumahan Badak LNG pada saat jam sibuk seperti jam berangkat dan pulang kantor, terjadi antrian yang cukup panjang pada salah satu sisi *traffic light* pada setiap persimpangan. Sementara disisi lain *traffic light* relatif sepi bahkan tidak ada kendaraan yang mengantri. Hal ini terjadi karena pembagian jatah waktu lampu hijau yang sama rata untuk setiap persimpangan, tanpa melihat jumlah kendaraan yang ada pada masing-masing persimpangan. Akibatnya persimpangan yang sepi kendaraan mendapatkan lampu hijau yang lebih lama dari yang dibutuhkan. Semakin lama lampu hijau pada suatu simpang jalan, maka semakin lama pula lampu merah pada simpang jalan lainnya. Jika suatu simpang jalan yang sedang sepi, mendapatkan jumlah detik lampu hijau yang sama dengan simpang jalan yang ramai, tentu hal tersebut menjadi kurang efektif. karena simpang jalan yang ramai tersebut harus menunggu lampu hijau pada simpang jalan yang sepi yang sebenarnya tidak memerlukan lampu hijau yang terlalu lama. Oleh karena itu, dibutuhkan pengaturan waktu untuk lampu hijau yang lebih fleksibel. Hal ini bertujuan agar masing-masing simpang jalan memperoleh jumlah detik yang sesuai dengan jumlah kendaraan yang melintas pada persimpangan jalan tersebut. Sehingga simpang jalan lainnya tidak perlu menunggu giliran lampu hijau yang terlalu lama. Dengan begitu, kepadatan kendaraan pada persimpangan jalan diharapkan dapat berkurang. Selain itu, penulis juga membuat sistem notifikasi pelanggaran berupa sms pada lampu merah untuk membantu pengawas lalu lintas dalam menindak dan meminimalisasi terjadinya pelanggaran pada lampu merah. Dalam penelitian ini, penulis membuat sebuah prototipe *Smart Traffic Light System* dengan menggunakan sensor ultrasonik sebagai *counter* jumlah kendaraan dan pendeteksi pelanggaran pada lampu merah. Untuk menentukan lamanya waktu tunggu pada lampu hijau penulis menggunakan *fuzzy logic* dengan *Fuzzy Interference System* penalaran tipe mamdani untuk menghasilkan jumlah detik lampu hijau yang sesuai jumlah kendaraan ada pada suatu simpang jalan.

II. METODE PENELITIAN

Metode logika fuzzy digunakan untuk mengatur lama waktu penyalaan lampu hijau berdasarkan jumlah kendaraan yang terhitung. Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Fuzzy dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran (Kusumadewi, 2004). Logika fuzzy meniru cara berpikir manusia dengan menggunakan konsep sifat kesamaran suatu nilai. Konsep logika fuzzy pertama kali diperkenalkan oleh Professor Lotfi A. Zadeh dari Universitas California, pada bulan Juni 1965 untuk menyatakan kelompok/himpunan yang dapat dibedakan dengan himpunan lain berdasarkan derajat keanggotaan dengan batasan yang tidak begitu jelas (samar), tidak seperti himpunan klasik yang membedakan keanggotaan himpunan menjadi dua, himpunan anggota atau bukan anggota.

Pemodelan fuzzy logic pada penelitian ini menggunakan fuzzy inference system (FIS). Penulis menggunakan fuzzy logic toolbox yang ada pada aplikasi MATLAB dengan penalaran fuzzy metode Mamdani.



Gambar 1. Fuzzy inference system model

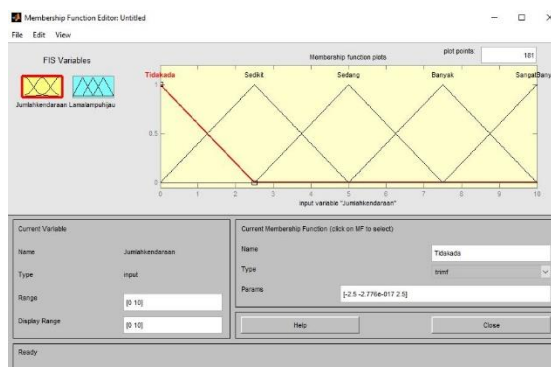
1. Pengaturan Variabel *input* dan *output* pada fuzzy inference system :

a. Variabel *Input*

Pada variabel *input*, jumlah kendaraan yang dapat di akomodasi oleh sistem adalah 0-10 kendaraan. berdasarkan jumlah kendaraan tersebut, akan digunakan 5 himpunan *fuzzy* dengan *cluster* sebagai berikut :

Jumlah kendaraan :

1. Tidak ada
2. Sedikit
3. Sedang
4. Banyak
5. Sangat banyak



Gambar 2. Model *input* jumlah kendaraan

Keterangan:

- Tidak ada: Jumlah kendaraan < 12.5% dari total kendaraan
- Sedikit: jumlah kendaraan > 12.5% < 37.5% dari total kendaraan
- Sedang: jumlah kendaraan > 37.5% < 62.5% dari total kendaraan
- Banyak: jumlah kendaraan > 62.5% < 87.5% dari total kendaraan
- Sangat banyak: > 87.5% dari total kendaraan

b. Variable *Output*

Pada variabel *ouput*, lama waktu penyalaan lampu hijau yang ditentukan adalah 0-25 detik. berdasarkan lama waktu tersebut, sebanyak 5 himpunan *fuzzy* juga akan digunakan dengan *cluster* sebagai berikut:

lama waktu penyalaaan lampu hijau:

1. Sebentar sekali
2. Sebentar
3. Sedang
4. Lama
5. Sangat Lama

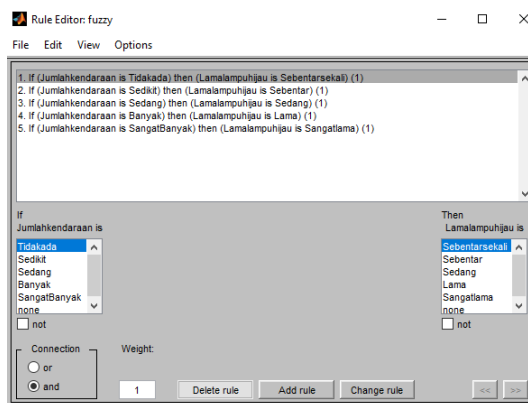


Gambar 3. Model *output* lama nyala lampu hijau

Keterangan:

- Sebentar sekali: lama waktu nyala lampu hijau < 3.12 detik.
- Sebentar : lama waktu nyala lampu hijau >3.12 detik < 9.375 detik.
- Sedang : lama waktu nyala lampu hijau > 9.375 detik < 15.625 detik.
- Banyak : lama waktu nyala lampu hijau >15.625 detik < 21.875 detik.
- Sangat Banyak : lama waktu nyala lampu hijau >21.875 detik

2. Penentuan aturan Fuzzy:

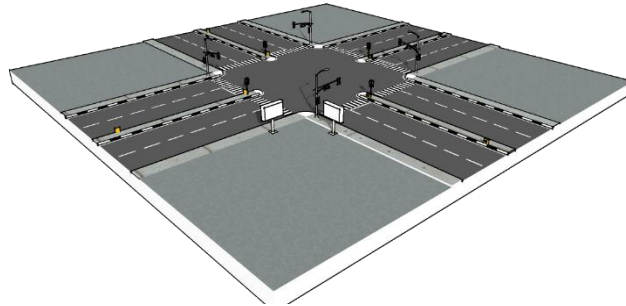


Gambar 4. Aturan *fuzzy interference system*

Berikut merupakan Aturan Fuzzy :

1. If (jumlah kendaraan is tidak ada) then (lampuhijau is Sebentar sekali) (1)
2. If (jumlah kendaraan is sedikit) then (lampuhijau is Sebentar) (1)
3. If (jumlah kendaraan is sedang) then (lampuhijau is Sedang) (1)
4. If (jumlah kendaraan is banyak) then (lampu hijau is lama) (1)
5. If (jumlah kendaraan is sangat banyak) then (lampu hijau is Sangat lama) (1)

3. Desain dan Tata letak Sensor:



Gambar 5. Desain prototipe *smart traffic light system*

Berikut adalah dimensi dari prototipe *Smart Traffic Light System*

Tabel 1. Dimensi prototipe *smart traffic light system*

No	Panjang Prototipe	120 Cm
1	Lebar Prototipe	120 Cm
2	Lebar jalan	15 Cm
3	Lebar trotoar	6 Cm
4	Lebar median jalan	6 Cm



Gambar 6. Tata letak sensor pada smart traffic light system

Pada setiap persimpangan terdapat dua buah sensor ultrasonik yang dipasang tepat menghadap *zebracross* dan sensor lainnya dipasang sekitar beberapa cm sebelum lampu lalu lintas.

Berikut merupakan fungsi sensor ultrasonik pada smart traffic light system ini :

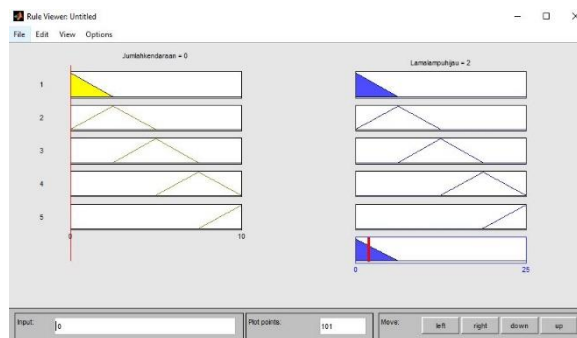
1. Sensor ultrasonic yang pertama, digunakan untuk menghitung jumlah kendaraan yang melintas pada jangka waktu tertentu, dan akan diolah untuk dijadikan sebagai input untuk menentukan lama waktu penyalan lampu hijau pada lampu lalu lintas. Posisinya terletak disisi kanan jalan dan agak jauh sebelum posisi lampu lalu lintas.
2. Sensor ultrasonic yang kedua, digunakan untuk mendeteksi ketika terjadi pelanggaran pada lampu merah. Jika sensor ini mendeteksi adanya pelanggaran, maka sistem akan langsung mengirim notifikasi berupa SMS kepada pengawas. Posisi sensor ini terletak di sisi kanan jalan dan sejajar dengan *zebra cross*. Sensor ini aktif hanya pada saat waktu lampu berwarna merah menyala.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Fuzzy Intefrence System

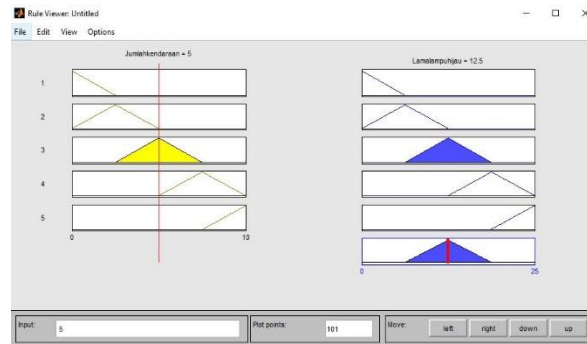
Berikut merupakan hasil pengujian fuzzy inference system untuk beberapa kondisi yang berbeda.

- a. Input : 0 kendaraan
Output: 2 detik waktu penyalan lampu hijau



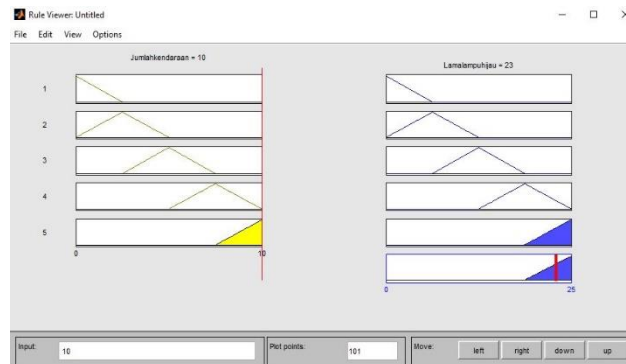
Gambar 7. Hasil Pengujian *fuzzy inference system* 1

- b. Input: 5 kendaraan
Output: 12 detik waktu penyalaaan lampu hijau



Gambar 8. Hasil Pengujian *fuzzy inference system 2*

- c. Input: 10 kendaraan
Output: 23 detik waktu penyalaaan lampu hijau



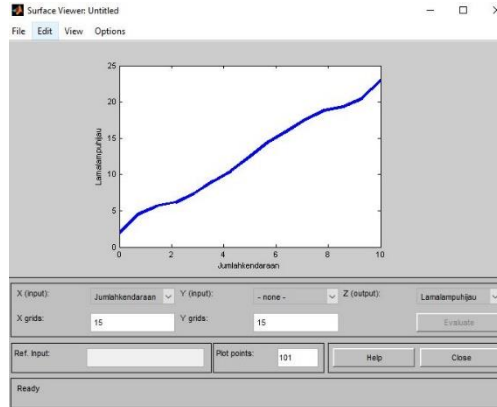
Gambar 9. Hasil Pengujian *fuzzy inference system 3*

Berikut ini adalah hasil pengujian *fuzzy inference system* secara keseluruhan:

Tabel 2. Hasil Pengujian *fuzzy inference system*

Jumlah kendaraan	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lama lampu Hijau (detik)	2	5	6	8	10	12	15	17	19	20	23

Berdasarkan data hasil pengujian diatas maka didapatkan linearitas sistem seperti pada kurva dibawah ini :



Gambar 10. kurva linearitas hasil pengujian *fuzzy inference system*

Data hasil pengujian FIS pada tabel 2 akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan lama penyalaan lampu hijau pada setiap persimpangan. ketika pada ke empat persimpangan tidak terdapat kendaraan, maka lampu lalu lintas akan berjalan secara normal dengan durasi setiap lampu sebagai berikut :

1. Hijau = 2 detik
2. Kuning = 2 detik
3. Merah = 2 detik

Namun ketika terdapat kendaraan pada persimpangan tersebut maka lama waktu tunggu dari lampu hijau akan ditentukan oleh jumlah kendaraan yang terdeteksi oleh sensor ultrasonik berdasarkan hasil pengujian *fuzzy inference system* diatas.

2. Hasil Pengujian sistem traffic light konvensional dengan sistem smart traffic light

Tabel 3. Data hasil pengujian pada *traffic light* konvensional

Putaran	Jumlah kendaraan / lama waktu lampu hijau				Total Waktu
	Simpang 1	Simpang 2	Simpang 3	Simpang4	
1	3 / 25 detik	6 / 25 detik	6 / 25 detik	0 / 25 detik	100 detik
2	0 / 25 detik	3 / 25 detik	6 / 25 detik	10 / 25 detik	100 detik
3	3 / 25 detik	6 / 25 detik	8 / 25 detik	3 / 25 detik	100 detik
4	3 / 25 detik	0 / 25 detik	3 / 25 detik	0 / 25 detik	100 detik
5	8 / 25 detik	10 / 25 detik	0 / 25 detik	3 / 25 detik	100 detik

Tabel 4. Data hasil pengujian pada smart traffic light system

Putaran	Jumlah kendaraan / lama waktu lampu hijau				Total Waktu
	Simpang 1	Simpang 2	Simpang 3	Simpang4	
1	3 / 8 detik	6 / 15 detik	6 / 15 detik	0 / 2 detik	40 detik
2	0 / 2 detik	3 / 8 detik	6 / 15 detik	10 / 23 detik	48 detik
3	3 / 8 detik	6 / 15 detik	8 / 19 detik	3 / 8 detik	50 detik
4	3 / 8 detik	0 / 2 detik	3 / 8 detik	0 / 2 detik	20 detik
5	8 / 19 detik	10 / 23 detik	0 / 2 detik	3 / 8 detik	52 detik

Catatan :

1. Satu putaran adalah ketika semua simpang jalan telah menerima bagian lampunya masing-masing.
2. Pada sistem *traffic light* konvensional, jumlah detik lampu hijau sama pada setiap kondisi jumlah kendaraan yaitu 25 detik.
3. 6/25 artinya ada 6 kendaraan dan lama lampu hijaunya 25 detik.
4. Pada *smart traffic light system* range output lampu hijaunya adalah 0 - 25 detik.

3. Hasil Pengujian Respon Notifikasi Ketika Terjadi Pelanggaran

Pengujian respon penerimaan notifikasi pelanggaran lampu merah ini di lakukan di workshop badak learning center, mengingat sistem SMS yang sangat bergantung dengan kekuatan sinyal di suatu area tertentu, maka hasil pengujian respon penerimaan notifikasi via SMS dapat berbeda jika dilakukan di area lain. Untuk mendapatkan waktu yang mewakili kecepatan respon sistem notifikasi sesungguhnya maka dilakukan masing-masing 5 kali pengujian sehingga si dapat kan waktu rata-rata penerimaan notifikasi berupa SMS ketika terjadi pelanggaran pada lampu merah seperti pada tabel di bawah ini :

Tabel 5. Data hasil pengujian Kecepatan Respon Notifikasi Pada Simpang Pertama

No	Pelanggaran	Notifikasi SMS	Time Delay
1	1	1	5.84 detik
2	0	0	-

Tabel 6. Data hasil pengujian Kecepatan Respon Notifikasi Pada Simpang Kedua

No	Pelanggaran	Notifikasi SMS	Time Delay
1	1	1	5.92 detik
2	0	0	-

Tabel 7. Data hasil pengujian kecepatan respon notifikasi pada simpang ketiga

No	Pelanggaran	Notifikasi SMS	Time Delay
1	1	1	6.33detik
2	0	0	-

Tabel 8. Data hasil pengujian kecepatan respon notifikasi pada simpang keempat

No	Pelanggaran	Notifikasi SMS	Time Delay
1	1	1	6.02 detik
2	0	0	-

IV. KESIMPULAN

- a. Sistem *smart traffic lights* dengan metode *fuzzy logic* menunjukkan lama lampu hijau yang diberikan untuk suatu simpang jalan berbeda-beda tergantung dengan tingkat kepadatan yang ada pada simpang jalan tersebut. Sehingga lama waktu antrian lampu merah di simpang lain dapat lebih singkat.
- b. Pembagian lama lampu hijau dengan *fuzzy logic* ini lebih efektif jika dibandingkan dengan pembagian lampu hijau pada sistem lampu lalu lintas konvensional. Karena dapat mempersingkat waktu antrian pada lampu merah.
- c. Sistem notifikasi pelanggaran lampu merah bekerja ketika sensor mendeteksi kendaraan pada saat melanggar lampu merah dan notifikasi berupa SMS dapat diterima oleh peneliti dalam rata-rata waktu 6 detik pada area gedung training Badak LNG .

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Patel, M., & Ranganathan, N. (2001). IDUTC: An Intelligent Decision Making System for Urban Traffic-Control Applications. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 50(3), 816-829.
- [2] MathWorks (2016). Fuzzy Inference Systems. Retrieved from <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/mamdani-fuzzy-inferencesystems.html>
- [3] Irawanto, Bambang dan Kurniawan, Desfri, 2010, Penerapan Sistem Inferensi Metode Min-Max dalam Logika Fuzzy untuk Pengaturan Traffic Light, *Jurnal Sains&Matematika (JSM)* Vol. 18, No. 1.
- [4] Kusumadewi, Sri dan Purnomo, Hari, 2004, *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*, Graha Ilmu, Yogyakarta
- [5] Rahmat Taufik, Supriyono, Sukarman, 2008, Rancang Bangun Simulator Kendali Lampu Lalu Lintas Dengan Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler, [pdf], (http://jurnal.stn-batan.ac.id/wp-content/uploads/2008/12/48_SDMIV_Rahmattaufk459-466.pdf, diakses tanggal 2 april 2018).
- [6] Simanjuntak, Novan Parmonangan, 2012, Aplikasi Fuzzy Logic Controller pada Pengontrolan Lampu Lalu Lintas, [pdf], (<http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/MetNum/2011-2012/Makalah2012/MakalahIF4058-2012-002.pdf>, diakses tanggal 4 april 2018)