

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 ($^{\circ}$ C)
- T_{u2} = Temperatur uap keluar ($^{\circ}$ C)
- N = Nomor Transfer Unit
- U_{clean} = Koefisien Transfer Panas kondisi bersih ($W/m^2.K$)
- U_{dirty} = Koefisien Transfer Panas kondisi kotor ($W/m^2.K$)
- 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] :

$$\dot{Q} = \dot{m}_{uap} (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LM} \dots \dots \dots (2.9)$$

$$U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LM} = \dot{m}_{uap} (h_1 - h_2) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$A = \frac{\dot{m}_{uap} (h_1 - h_2)}{U \cdot A \cdot F \cdot \Delta T_{LM}} \dots \dots \dots (2.11)$$

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 ($W/m^2.K$)
- A = Luas penampang penukar panas (m^2)
- F = Faktor Koreksi
- h_1 = *Enthalpy* uap masuk (kJ/kg.K)
- h_2 = *Enthalpy* uap keluar (kJ/kg.K)
- T_{u1} = Temperatur uap masuk ($^{\circ}$ C)
- T_{u2} = Temperatur uap keluar ($^{\circ}$ C)
- T_{a1} = Temperatur air masuk ($^{\circ}$ C)
- T_{a2} = Temperatur air keluar ($^{\circ}$ C)
- $\Delta T_{LM} = \frac{(T_{u1} - T_{a2}) - (T_{u2} - T_{a1})}{\ln \left(\frac{T_{u1} - T_{a2}}{T_{u2} - T_{a1}} \right)}$

- Perhitungan *Plugging* Terhadap Kecepatan Aliran Air Pendingin
 Besar 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

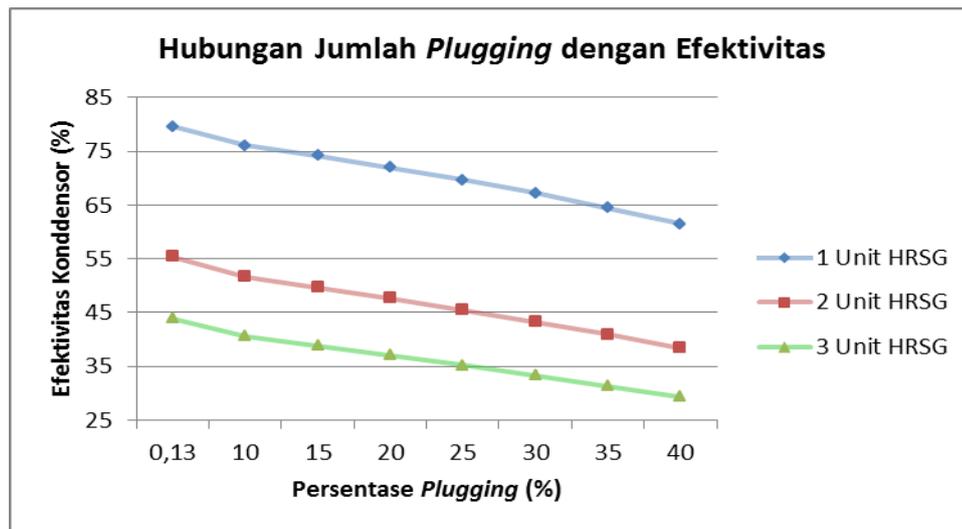
Data yang dibutuhkan untuk melakukan analisa pengaruh *Plugging tube* terhadap kondensor serta batasan jumlah *Plugging* maksimal yang diizinkan adalah data operasional pada Desember 2015 hingga Desember 2016. Pengambilan data dalam kurun waktu tersebut didasari oleh beberapa hal, yaitu karena pada bulan 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

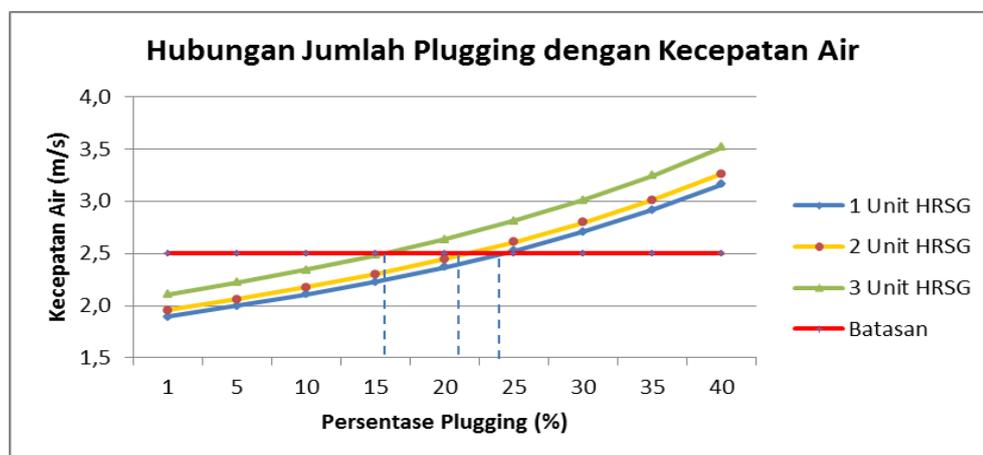
Pada kondisi trip dengan tekanan diketahui sebesar 100 kpa, dan temperatur 49°C, diperoleh persentase *Plugging* sebesar 25,21% atau sejumlah 3.516 *tube* dari total 13.950 *tube*. Artinya, jika sudah dilakukan *Plugging* mendekati jumlah 3.516 *tube* maka kondensor sudah tidak aman dan harus segera 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	13378,6	14418,41	1,896	2,109	
5%	6,346					1,996	2,220	
10%	6,012					2,106	2,344	
15%	5,678					2,230	2,481	
20%	5,344					2,370	2,637	
25%	5,01					2,528	2,812	
30%	4,676					2,708	3,013	
35%	4,342					2,917	3,245	
40%	4,008					3,160	3,515	



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