

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 menaikan 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>

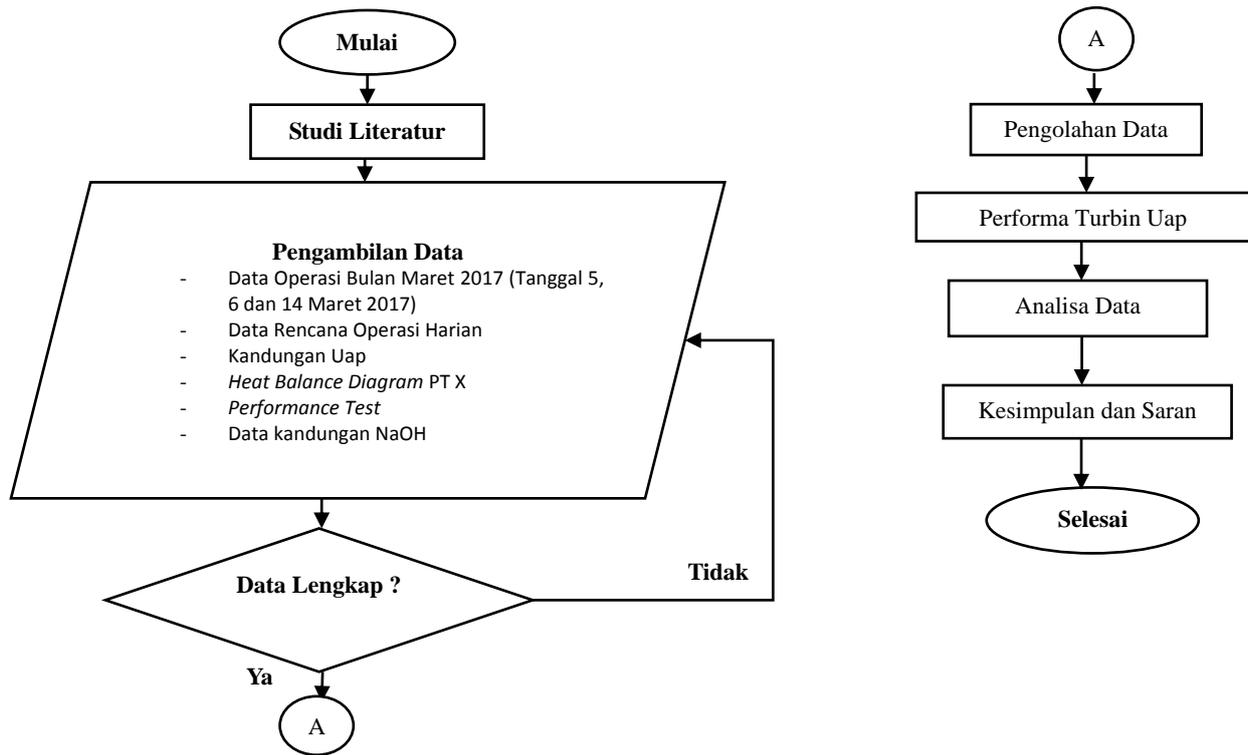
I. PENDAHULUAN

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

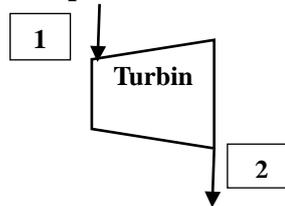
A. Turbine Washing System

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].

$$SR = \frac{\text{main steam flowrate}}{\text{turbine-generator output}} \quad [\text{Persamaan 4}]$$

$$SR = \frac{\dot{m}}{P_{\text{generator}}} \quad [\text{Persamaan 5}]$$

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

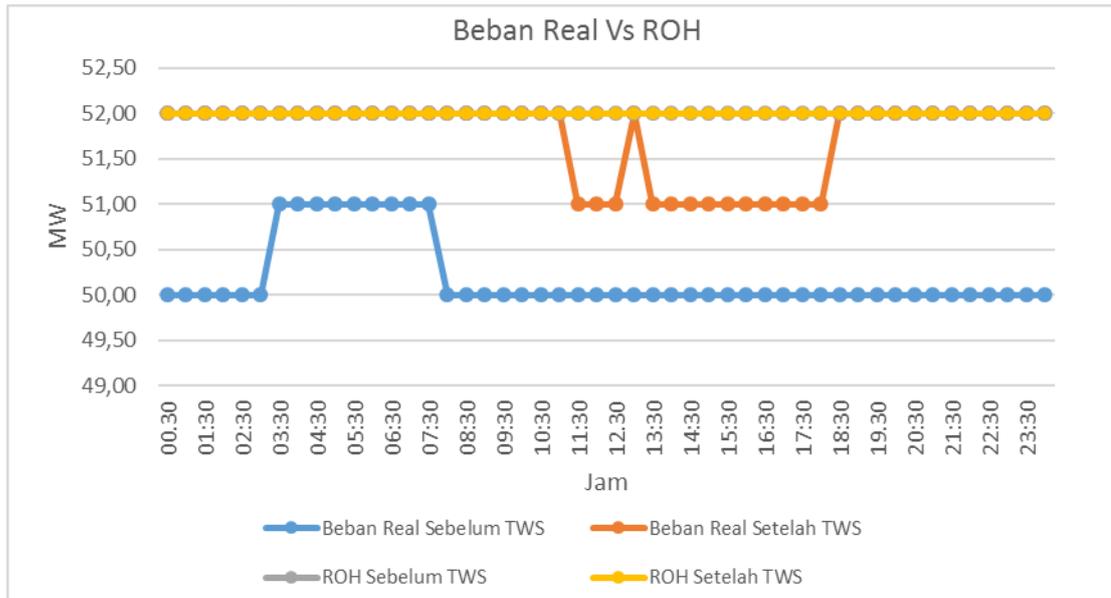
Efisiensi generator merupakan perbandingan antara daya keluaran atau daya yang dibangkitkan generator dengan daya masukan generator. Untuk menghitung efisiensi generator adalah dengan membandingkan daya keluaran generator dan daya masukan generator. Daya masukan generator sama dengan daya yang dihasilkan turbin, seperti persamaan dibawah ini [11] :

$$\eta_{\text{gen}} = \frac{\text{Beban}}{WT_{\text{aktual}}} \times 100\% \quad [\text{Persamaan 8}]$$

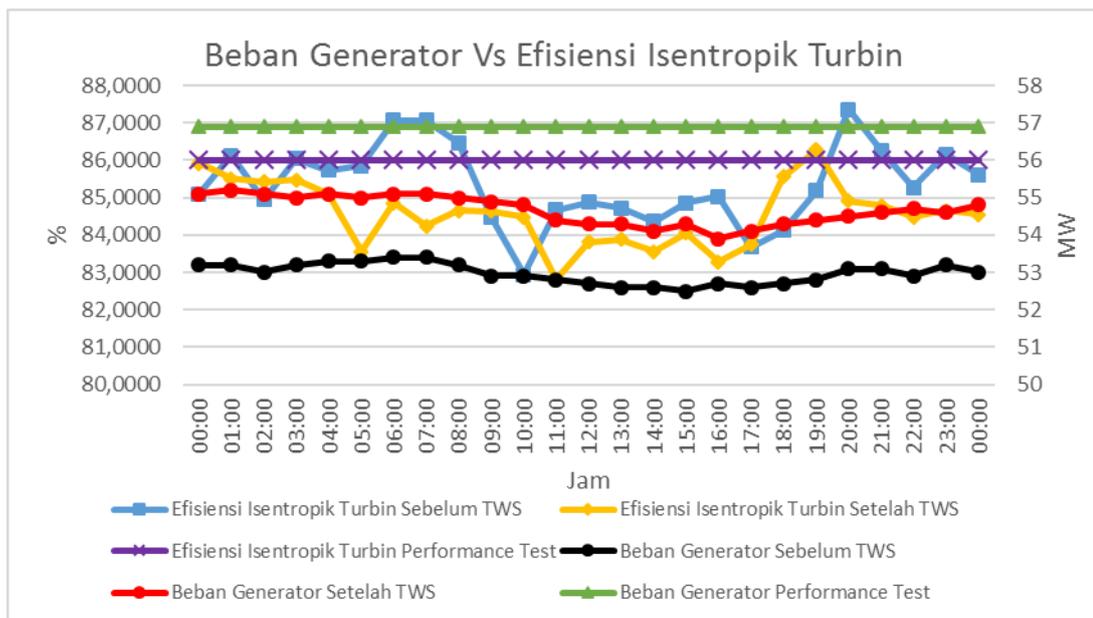
Pada pembangkit X generator telah dilakukan test report sehingga efisiensinya adalah 0,98 [12]. Untuk mencari daya aktual yang dihasilkan oleh turbin dilakukan dengan mengalihkan energi yang dihasilkan turbin dengan efisiensi turbin. Atau dengan perbandingan daya yang dihasilkan generator dengan efisiensi 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

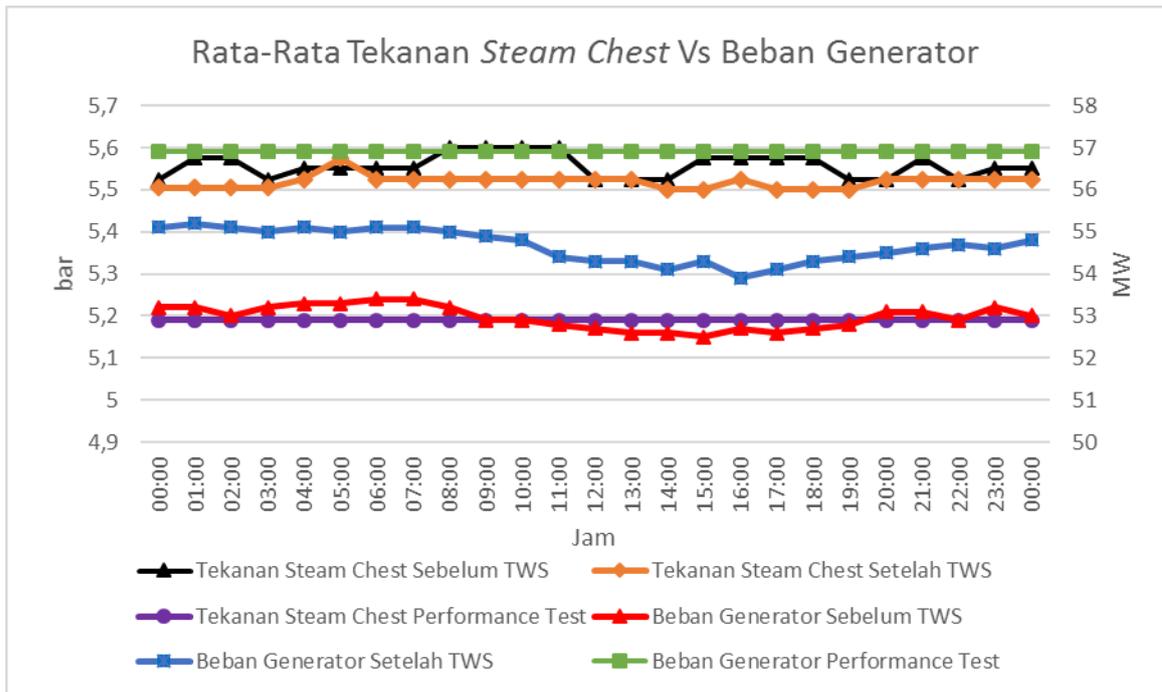


Gambar 4. Grafik Perbandingan Beban Generator (Daya Generator) dengan Efisiensi Isentropik turbin

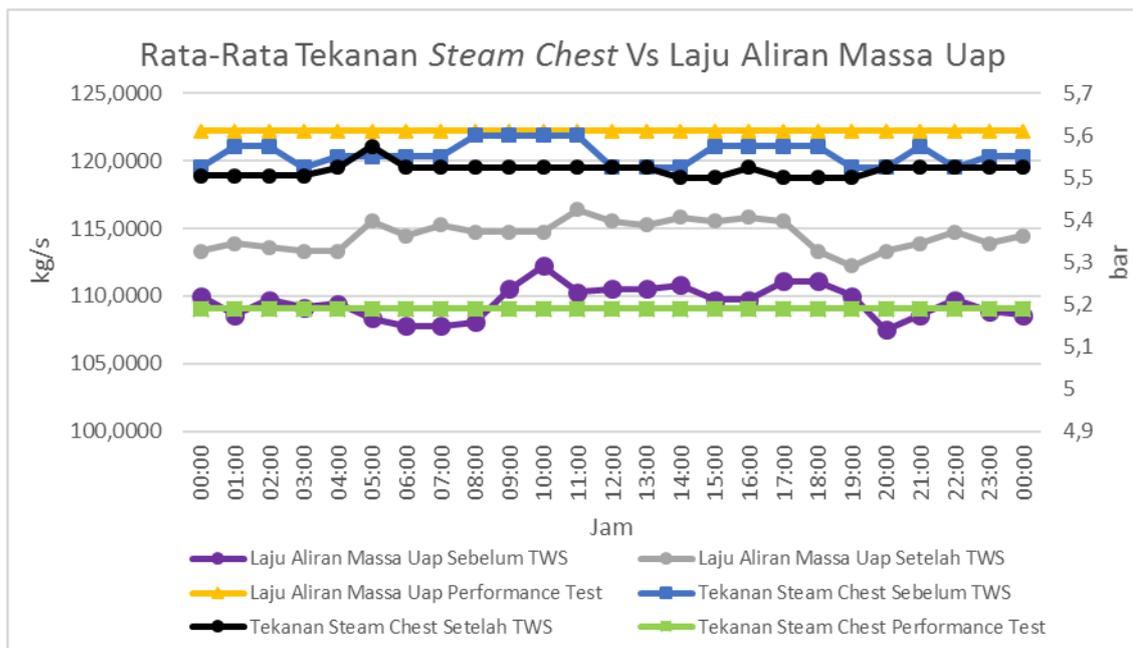
Beban *Real* adalah daya yang diberikan ke P2B merupakan beban netto atau beban bersih yang sudah dikurangi dengan pemakaian sendiri. Pada Unit 2 PT X, menyalurkan beban *real* ke P2B sesuai dengan ROH (Rencana Operasi Harian) yang telah disepakati P2B dan Pembangkitan. ROH ini dibuat berdasarkan DMN (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

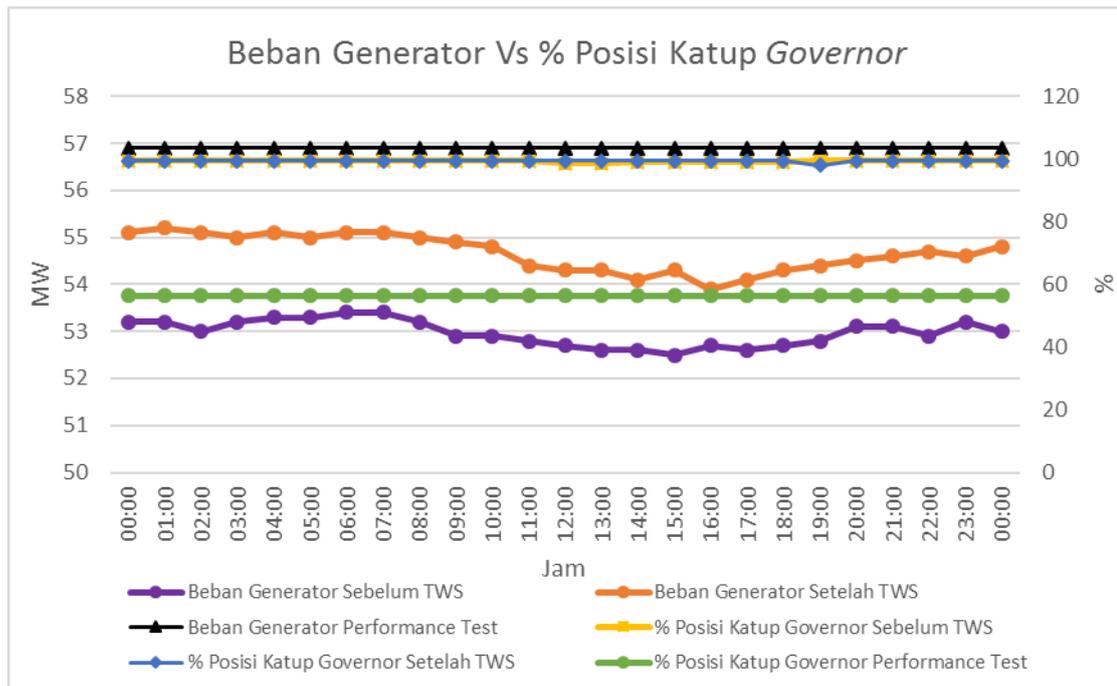
menunjang efisiensi isentropik turbin. Beberapa parameter yang membutuhkan peninjauan lebih yaitu tekanan uap pada *steam chest*, dan laju aliran massa uap yang akan masuk turbin karena hal tersebut merupakan yang paling signifikan menyebabkan turunnya daya pembangkitan pada tanggal 5 Maret 2017. Indikasi 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. Laksmiingpuri 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.