



## Analisis Pengaruh *Turbine Washing* Terhadap Efisiensi dan Daya Pembangkit Turbin Uap

### *Analysis The Effect of Turbine Washing on The Efficiency And Generating Power of Steam Turbine*

Sagita Firza Nur dan I Gede Eka Lesmana\*

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Serengseng Sawah Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Indonesia

#### Informasi artikel

Diterima:  
06/04/2021  
Direvisi:  
20/05/2021  
Disetujui:  
20/05/2021

#### Abstract

*The steam turbine is one of the main components in the Geothermal Power Plant which acts as the prime mover is used to convert heat energy in steam into rotation energy. At PLTP X, steam is used to drive the turbine is in saturation conditions. The principle of the steam turbine is dry steam plant cycle. From July to August, it was known that there have been several decreases in generating power at Unit 2 at PLTP X. The efforts that can be done to overcome this problem is by turbine washing. This study aims to compare the performance of steam turbines based on thermal efficiency, isentropic efficiency and steam turbine generator power before and after turbine washing from the calculation results based on CEI/IEC 953-1, CEI/IEC 60953-3 and ASME PTC 6-2004 standards using the actual steam system operating parameter data collection, interviews and analysis. So that it gets an average increase in isentropic efficiency of 0,0564 %, thermal efficiency of 0,0082 %, the actual power generation of steam turbine is 162,72 kW and the largest power generation reaches 54.500 kW after the turbine washing steam rate of 7,5963 kg/kWh and the turbine heat rate of 3.607,3453 kJ/kWh.*

*Keywords: steam turbine, turbine washing, efficiency, steam rate, turbine heat rate.*

#### Abstrak

Turbin uap merupakan salah satu komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi sebagai penggerak mula yang digunakan untuk mengubah energi panas uap menjadi energi mekanis (putaran poros turbin). Pada PLTP X, uap yang digunakan untuk menggerakkan turbin yaitu dalam kondisi saturasi dengan prinsip kerja turbin yaitu *dry steam plant cycle*. Pada bulan Juli - Agustus terjadi beberapa penurunan daya pembangkit pada Unit 2 di PLTP X. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan cara melakukan *Turbine washing*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan kinerja turbin uap berupa efisiensi termal, efisiensi isentropik serta daya pembangkit turbin uap saat sebelum dan sesudah *turbine washing* dengan perhitungan berdasarkan standar CEI/IEC 953-1, CEI/IEC 60953-3 dan ASME PTC 6-2004 dengan metode pengambilan data parameter operasi aktual sistem uap, wawancara dan analisis. Sehingga didapatkan hasil rata - rata peningkatan efisiensi isentropik 0,0564 %, efisiensi termal 0,0082 %, daya pembangkit aktual turbin uap 162,72 kW dan daya pembangkit listrik terbesar mencapai 54.500 kW saat sesudah dilakukannya *turbine washing* dengan *steam rate* 7,5963 kg/kWh dan *turbine heat rate* 3.607,3453 kJ/kWh.

**Kata Kunci:** turbin uap, *turbine washing*, efisiensi, *steam rate*, *turbine heat rate*.

\*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 813 8820 8275  
email : [gdlesmana@univpancasila.ac.id](mailto:gdlesmana@univpancasila.ac.id)

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki sumber energi panas bumi (*geothermal energy*) yang cukup besar. Sumber energi Panas Bumi di Indonesia merupakan salah satu sumber daya energi ramah lingkungan dan dapat diperbaharui yang memiliki cadangan dengan jumlah sangat besar. Menurut data statistik Direktorat Jendral Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi tahun 2016, Indonesia memiliki potensi sumber daya energi panas bumi mencapai 11.998 MW dan cadangan sebesar 17.546 MW. Kontribusi Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di listrik Nasional pada tahun 2015 untuk sumber daya dan cadangan dengan kapasitas terpasang yaitu sebesar 1.438,5 MW (Directorate General EBTKE, 2016).

Energi listrik yang dihasilkan pada Unit 2 PLTP X yaitu sebesar 55 MW. Turbin uap merupakan salah satu komponen utama pada PLTP yang memiliki peran penting sebagai penggerak mula (*prime mover*). Turbin uap digunakan untuk mengubah energi panas pada uap menjadi energi mekanis berupa putaran poros turbin (Kurniasari, dkk., 2017). Keandalan turbin uap dapat dilihat dari kinerja turbin uap seperti efisiensi termal, efisiensi isentropik, *steam rate* dan *turbine heat rate*. Kinerja turbin dapat berpengaruh terhadap daya pembangkit yang dihasilkan oleh generator (Kanoglu dan Dincer, 2009)

Penurunan daya pembangkit biasa terjadi di Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. Dimana, Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi yang sedang beroperasi tidak dapat mencapai DMN yang disetujui, sehingga mengakibatkan terjadinya *de-rating*. *De-rating* adalah keadaan saat daya keluaran generator tidak mencapai beban maksimal sesuai dengan DMN. *De-rating* bermula saat pembangkit tidak dapat mencapai 98 % DMN lebih dari 30 menit (Setiawan, dkk., 2017). Terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut yaitu dengan cara melakukan pencucian/pembersihan turbin atau dengan melakukan pergantian komponen pada turbin. Namun upaya yang dilakukan untuk mengatasi permasalahan

tersebut yaitu dilakukannya *turbine washing*. *Turbine washing* merupakan upaya *recondition* dari turbin yaitu kegiatan mengembalikan kinerja turbin uap untuk dapat mendekati kondisi semula. Kegiatan *turbine washing* termasuk ke dalam periode perawatan *predictive maintenance*. Dimana, pemeliharaan ini dilakukan atas dasar hasil diagnosa (*condition monitoring*) serta kajian *failure analysis* secara berkala atas dasar interval operasi dan interval waktu berdasarkan timbulnya suatu gejala kerusakan atau degradasi kinerja pembangkit yang dapat diketahui secara dini, sehingga pemeliharaan dapat dilakukan tepat sebelum terjadinya kerusakan/kegagalan (Okwuejunti dan Kehinde, 2015). *Turbine washing* dapat berkaitan langsung dengan peningkatan efisiensi turbin dan daya pembangkit karena uap yang masuk ke dalam turbin akan lebih maksimal, dimana *turbine washing* dapat mempengaruhi laju aliran uap serta tekanan masuk turbin sehingga dapat mengurangi *fouling* yang melekat pada sudu - sudu turbin. Selain itu, *turbine washing* juga dapat dilakukan pada saat sistem pembangkit masih dalam kondisi beroperasi (*On-line turbine washing*). *Turbine Washing* merupakan kegiatan pembersihan turbin dengan proses pencucian khususnya pada sudu - sudu dan mengurangi *fouling* pada turbin (Boyce dan Gonzalez, 2007).

Pada beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu dengan melakukan analisis mengenai kajian terbentuknya *scaling* pada turbin uap didapatkan kandungan uap dominan yang dihasilkan dari sumur produksi di kawasan PLTP Kamojang yaitu kandungan kimia CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>S, dimana kandungan kimia tersebut dapat menyebabkan *scaling* pada turbin berupa endapan padat dan endapan lepas/pasir (Aziz dan Ola, 2019). Dengan melakukan analisis mengenai kegiatan *compressor washing* pada turbin gas blok 1.1 PLTG UP Muara Tawar didapatkan efisiensi thermal setelah dilakukan *compressor washing* mengalami kenaikan sekitar 1.461 % (Setiawan, dkk. 2017) dan dengan melakukan analisis mengenai pengaruh perawatan

kompresor dengan metode *chemical wash* didapatkan efisiensi termal siklus meningkat sebesar 2 % (Thamrin dan Pamungkas, 2015). Kemudian dengan melakukan analisis mengenai optimalisasi *heat rate* turbin gas PLTG 250 MW dengan *offline washing blade compressor* didapatkan nilai *heat rate* pada turbin gas mengalami pengoptimalan sebesar 35 kcal/kWh (Yerson dan Prasetyo, 2017). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh *turbine washing* terhadap performa turbin uap, bahwa kegiatan *turbine washing* dapat meningkatkan daya mampu netto pada turbin uap PT. X (Anggeraini, dkk. 2018). Serta dengan melakukan analisis efisiensi termal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong dengan memanfaatkan *brine* dari separator didapatkan pada unit 5 efisiensi meningkat menjadi sebesar 15,14% (Kusuma, dkk., 2018).

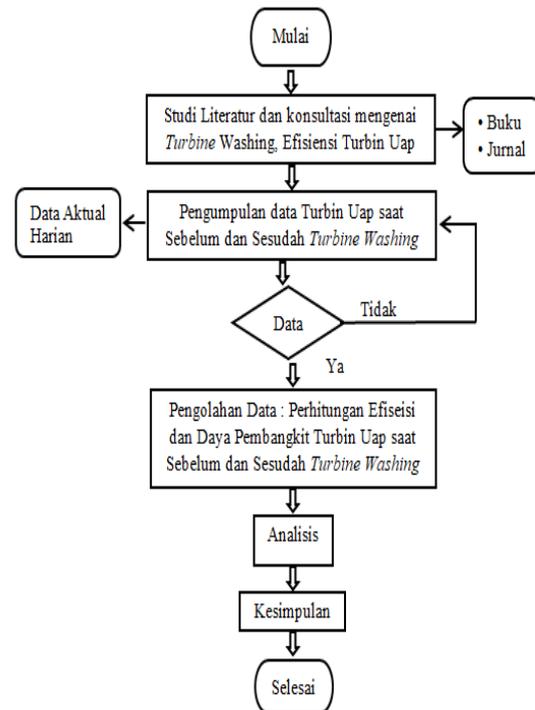
Berdasarkan beberapa penelitian mengenai turbin uap dan pengaruh perawatan pada turbin. Maka penelitian kali ini dilakukan analisis pengaruh *turbine washing* terhadap efisiensi dan daya pembangkit turbin uap. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data operasi aktual harian pada saat sebelum dan sesudah dilakukannya *turbine washing*.

## 2. METODOLOGI

### Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan berdasarkan bagan diagram alir pada gambar 1, dimulai dengan melakukan studi literatur dengan sumber berdasarkan buku, jurnal dan sumber terkait lainnya. Kemudian, dilanjutkan dengan pengumpulan data primer dan data sekunder pada turbin uap PLTP X. Dimana data sekunder merupakan data parameter operasi turbin uap dalam kondisi desain yang sudah ada sebelumnya. Sedangkan data merupakan pengambilan data secara langsung di lapangan dengan data sebelum dan sesudah dilakukannya kegiatan *turbine washing* dari *Central Control Room (CCR)*. Data yang dikumpulkan yaitu seperti, nilai tekanan (P) serta temperatur masuk ( $T_1$ ) dan temperatur

keluar ( $T_2$ ) pada turbin serta laju aliran massa uap ( $\dot{m}$ ) masuk turbin. Keputusan yang diambil berdasarkan bagan diagram alir di atas yaitu apabila data primer dan sekunder telah terpenuhi maka dapat dilanjutkan dengan melakukan pengolahan data yang kemudian akan dianalisis ke dalam bentuk gambar untuk selanjutnya ditarik ke dalam kesimpulan.



Gambar 1. Bagan Diagram Alir

### *Turbine Washing*

Gambar 2 merupakan gambar *flow diagram* dari PLTP X, dimana lingkaran merah menunjukkan letak turbin uap yang berada pada PLTP X yang dikopel dengan poros generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Turbin uap merupakan penggerak mula (*prime mover*), dimana gerak putaran turbin diperoleh dari perubahan momentum uap secara bertahap. Kecepatan uap masuk turbin dapat membangkitkan putaran sudu (*blade*) turbin. Sudu turbin yang berbentuk lekungan dapat merubah arah uap, sehingga sudu (*blade*) turbin dapat menerima gaya dari uap. Kerja uap tersebut disebut kerja dinamik. Oleh karena itu, tekanan dinamik dari uap dapat memutar sudu (*blade*) turbin secara langsung.



Gambar 3 menggambarkan uraian proses diagram T - S untuk *dry steam plant* dengan uap saturasi:

- Proses garis putus - putus-1  
Terjadinya proses isothermal dari sumur produksi menuju turbin.
- Proses 1 - 2s  
Terjadinya proses isentropik dari uap keluaran turbin menuju kondensor pada kondisi ideal (entropi konstan).
- Proses 1 - 2  
Terjadinya proses ekspansi turbin dalam kondisi aktual, dimana daya aktual yang dibangkitkan akan lebih kecil dibandingkan dengan daya ideal (entropi meningkat).
- Proses 2 - 3  
Terjadinya proses isothermal, dimana terjadi pelepasan panas/kalor dari air kondensat pada *cooling tower*.

### Teknik Pengolahan Data

#### Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Efisiensi isentropik turbin dapat dihitung dengan mengacu pada standar CEI/IEC 60953-3 (International Electrotechnical Commission, 2001):

$$\eta_{T,isen} = \frac{W \text{ Turbin aktual [MW]}}{W \text{ Turbin Isentropik [MW]}} \times 100 \quad (1)$$

dimana:

- $\eta_{T,isen}$  = Efisiensi Isentropik Turbin Uap (%)
- $WT_{akt}$  = Kerja Turbin dalam Keadaan Aktual (MW)
- $WT_{isen}$  = Kerja Turbin dalam Keadaan Isentropik (MW)

#### Baumman Rule

*Baumman Rule* menyatakan bahwa kandungan air rata-rata 1% berasal dari efisiensi turbin. Entalpi ideal dalam keadaan 2s dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (DiPippo, 2015):

$$h_{2s} = h_3 \left[ \frac{kJ}{kg} \right] + (h_g - h_3) \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \times \left( \frac{s_1 - s_3}{s_g - s_3} \right) \quad (2)$$

$$h_2 = \frac{h_1 \left[ \frac{kJ}{kg} \right] - A \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \times \left( 1 - \frac{h_s \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{h_g - h_s \left[ \frac{kJ}{kg} \right]} \right)}{1 + \frac{A \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}{h_g - h_s \left[ \frac{kJ}{kg} \right]}} \quad (3)$$

Dimana, faktor A diperoleh dari persamaan berikut:

$$A = 0,425 \times \left( h_1 \left[ \frac{kJ}{kg} \right] - h_{2s} \left[ \frac{kJ}{kg} \right] \right) \quad (4)$$

dimana:

- $h_1$  = Entalpi pada saat Masuk Turbin (kJ/kg)
- $s_1$  = Entropi pada saat Masuk Turbin (kJ/kg.K)
- $h_2$  = Entalpi pada saat Keluar Turbin (Aktual) (kJ/kg)
- $h_{2s}$  = Entalpi pada saat Keluar Turbin (Ideal) (kJ/kg)
- $h_3$  = Entalpi Keluaran Turbin pada Kondisi Air Saturasi (kJ/kg)
- $s_3$  = Entropi Keluaran Turbin pada Kondisi Air Saturasi (kJ/kg.K)
- $h_g$  = Entalpi Keluaran Turbin pada Kondisi Uap Saturasi (kJ/kg)
- $s_g$  = Entropi Keluaran Turbin pada Kondisi Uap Saturasi (kJ/kg.K)

#### Steam rate

*Steam rate* turbin dapat dihitung dengan mengacu pada standar CEI/IEC 953-1 (International Electrotechnical Commission, 1990):

$$SR = \frac{\text{main steam flowrate} \left[ \frac{kg}{s} \right]}{\text{turbine-generator output [kW]}} \quad (5)$$

#### 2.4.4 Turbine heat rate

*Turbine heat rate* dapat dihitung dengan mengacu pada standar ASME PTC 6, 2004 (ASME, 2005):

$$THR = \frac{\text{Net Heat Rate to the cycle}}{\text{Output}} \quad (6)$$

#### 2.4.5 Efisiensi Termal Turbin Uap

Efisiensi termal turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada standar CEI/IEC 953-1 (International Electrotechnical Commission, 1990):

$$THR = \frac{\text{Energi Kalor Dalam 1 kWh}}{\eta_{T,th}} \quad (7)$$

- $\eta_{T,th}$  = Efisiensi Termal Turbin Uap (%)

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada pengolahan data ini yaitu menggunakan data operasi normal harian sebelum dilakukannya *turbine washing* pada tanggal 2 Agustus pukul 00.00 WIB. Nilai efisiensi dan daya pembangkit turbin uap Unit 2 PLTP X sebelum dilakukannya *turbine washing* bisa didapatkan dengan melakukan pengolahan data sebagai berikut:

#### a. Perhitungan Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Untuk dapat menghitung efisiensi isentropik turbin, diperlukan pengolahan data untuk mencari nilai entalpi dan entropi pada setiap kondisi dengan menggunakan teknik interpolasi dari data operasi normal sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 53,000 \text{ kW} \\ \dot{m} &= 110.83 \text{ kg/s} \\ P_1 &= 565 \text{ kPa} \\ T_1 &= 169 \text{ }^\circ\text{C} \\ P_2 &= 11 \text{ kPa} \\ T_2 &= 46 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Contoh pengolahan data untuk mendapatkan nilai entalpi dan entropi dengan menggunakan teknik interpolasi:

$$\begin{aligned} h_3 &= 191.83 + \left(\frac{11-10}{15-10}\right) \times (225.97 - 191.83) \\ h_3 &= 198.66 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Sehingga, didapatkan nilai entalpi dan entropi pada setiap kondisi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} h_1 &= 2.782,05 \text{ kJ/kg} \\ s_1 &= 6.8449 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ h_3 &= 198.66 \text{ kJ/kg} \\ s_3 &= 0.6704 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ h_g &= 2.587,68 \text{ kJ/kg} \\ s_g &= 8.1227 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \\ h_{2s} &= 2,178.02 \text{ kJ/kg} \\ h_2 &= 2,299.58 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai entalpi dari setiap kondisi, maka dapat menghitung  $WT_{\text{aktual}}$  dan  $WT_{\text{isentropik}}$ , sebagai berikut:

$$\begin{aligned} WT_{\text{akt}} &= 110 \times (2,782.05 - 2,299.58) \\ WT_{\text{akt}} &= 53,472.1501 \text{ kW} \\ WT_{\text{akt}} &= 53.4721501 \text{ MW} \end{aligned}$$

dan,

$$WT_{\text{isen}} = 110 \times (2,782.05 - 2,178.02)$$

$$\begin{aligned} WT_{\text{isen}} &= 66,944.6449 \text{ kW} \\ WT_{\text{isen}} &= 66.9446449 \text{ MW} \end{aligned}$$

Sehingga, dapat menghitung efisiensi isentropik turbin uap dengan menggunakan persamaan 1:

$$\begin{aligned} \eta_{T,\text{isen}} &= \frac{53.4721501}{66.9446449} \times 100 \% \\ \eta_{T,\text{isen}} &= 79.8752 \% \end{aligned}$$

#### b. Perhitungan *Steam rate*

Untuk dapat menghitung *steam rate*, maka dibutuhkan nilai laju aliran massa uap masuk turbin dan daya generator sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= 53,000 \text{ kW} \\ \dot{m} &= 110.83 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Sehingga, dapat menghitung *steam rate* dengan menggunakan persamaan 5:

$$\begin{aligned} SR &= \frac{3,600 \times 110.83}{53,000} \\ SR &= 7.5283 \text{ kg/kWh} \end{aligned}$$

#### c. Perhitungan *Turbine Heat Rate*

Untuk menghitung *turbine heat rate* dapat digunakan persamaan 2.18 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} THR &= \frac{3,600 \times 53,472.1501}{53,000} \\ THR &= 3,632.0706 \text{ kJ/kWh} \end{aligned}$$

#### d. Perhitungan Efisiensi Termal Turbin Uap

Efisiensi termal turbin uap pada PLTP dapat dihitung dari hasil perhitungan data dari *turbine heat rate* sebagai berikut:

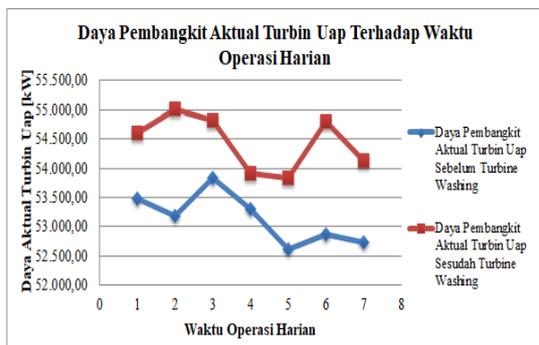
$$THR = 3,632.0706 \text{ kJ/kWh}$$

Sehingga, untuk menghitung efisiensi termal turbin uap dapat menggunakan persamaan 7, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{T,\text{th}} &= \frac{3,600}{3,632.0706} \times 100\% \\ \eta_{T,\text{th}} &= 99.1154 \% \end{aligned}$$

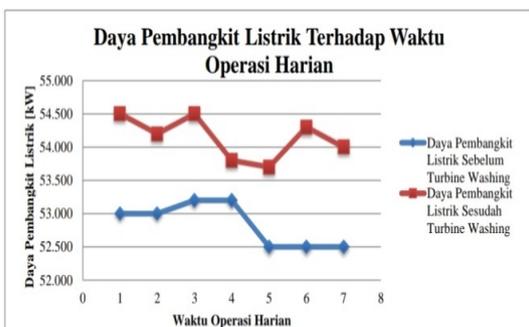
Gambar 4 menunjukkan bahwa daya pembangkit aktual turbin uap terbesar sebelum dilakukannya *turbine washing* yaitu pada hari ke-3 pengambilan data yaitu pada tanggal 04 Agustus pukul 00.00 WIB dengan daya pembangkit aktual turbin uap sebesar 53.833,5719 kW atau 53,83 MW. Operasi Harian Kemudian, daya pembangkit aktual turbin uap mengalami peningkatan sesudah dilaksanakannya *turbine washing* dengan

daya pembangkit aktual terbesar yaitu pada hari ke-2 pengambilan data pada tanggal 12 September pukul 00.00 WIB dengan daya pembangkit aktual turbin uap sebesar 55.007,2734 kW atau 55 MW.



Gambar 4. Gambar Perbandingan Daya Pembangkit Aktual Turbin Uap Terhadap Waktu

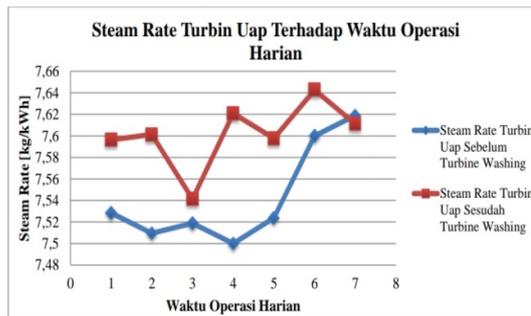
Sehingga, didapatkan hasil rata - rata peningkatan daya pembangkit aktual turbin uap sesudah dilakukannya *turbine washing* yaitu sebesar 162,72 kW atau 0,163 MW setiap harinya.



Gambar 5. Perbandingan *Steam rate* Terhadap Waktu Operasi Harian

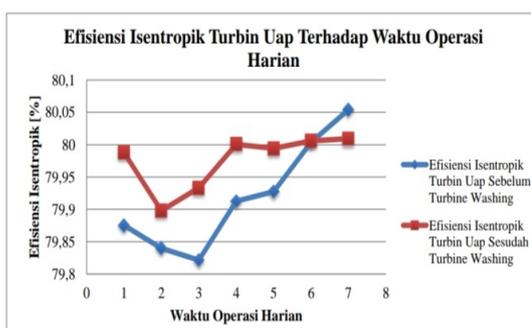
Berdasarkan gambar 4 dan 5 dapat dilihat bahwa Daya Aktual Turbin Uap dan Daya Pembangkit Listrik berbanding lurus. Dimana, daya pembangkit listrik mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya daya aktual pada turbin uap. Kemudian dapat dilihat bahwa nilai daya pembangkit listrik akan menghasilkan daya yang lebih kecil dibandingkan dengan daya aktual yang dihasilkan oleh turbin uap. Hal ini disebabkan karena daya listrik yang dihasilkan oleh pembangkit merupakan daya listrik bersih setelah dikurangi dengan kerugian - kerugian mekanis. Sama halnya dengan daya aktual turbin uap, daya pembangkit listrik

mengalami kenaikan saat sesudah dilakukannya *turbine washing* dengan menghasilkan daya pembangkit listrik sebesar 54.500 kW atau 54,5 MW.



Gambar 6. Perbandingan *Steam rate* Terhadap Waktu Operasi Harian

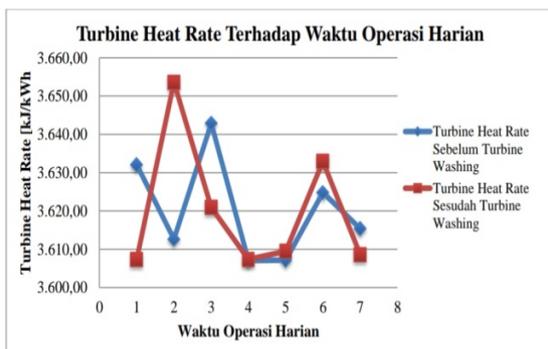
Pada gambar 6 menunjukkan bahwa sesudah dilakukannya *turbine washing* daya pembangkitan terbesar yaitu 54,500 kW atau 54.5 MW pada hari pertama pengambilan data sesudah *turbine washing* (tanggal 11 September) dengan nilai *steam rate* 7.5963 kg/kWh pada gambar 6. Semakin kecil nilai *steam rate* maka daya pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh generator akan semakin besar, hal ini dikarenakan nilai *steam rate* merupakan rasio perbandingan antara jumlah laju aliran massa uap masuk turbin atau yang menggerakkan turbin dengan daya pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 7. Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin Uap Terhadap Waktu Operasi Harian

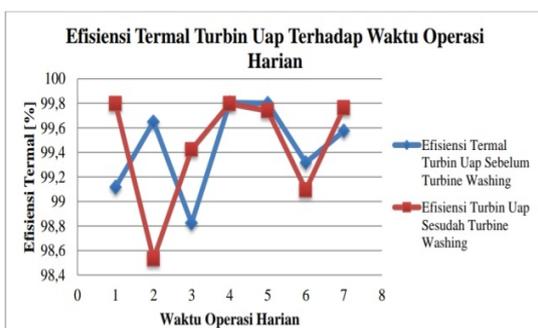
Efisiensi Isentropik turbin uap merupakan parameter yang terukur dari besarnya kerja turbin aktual dibandingkan dengan kerja turbin ideal dengan kata lain efisiensi isentropik turbin uap merupakan nilai presentase karena adanya kerugian gesekan akibat kerja turbin. Dimana hal ini

juga dipengaruhi oleh nilai entalpi aktual dan entalpi ideal keluar turbin uap. Pada gambar 7 menunjukkan bahwa sesudah dilakukannya *turbine washing* efisiensi isentropik turbin memiliki rata - rata kenaikan sebesar 0.0564 % yaitu dari 79.9191 % saat sebelum dilakukannya *turbine washing* kemudian menjadi 79.9755 % sesudah dilakukannya *turbine washing*. Efisiensi Isentropik turbin uap berbanding lurus dengan daya pembangkit listrik, sehingga kinerja turbin uap yang dilihat dari sisi efisiensi isentropik turbin uap.



Gambar 8. Perbandingan *Turbine heat rate* Terhadap Waktu Operasi Harian

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa sesudah dilakukannya *turbine washing* daya pembangkitan terbesar yaitu 54,500 kW atau 54.5 MW pada pada hari pertama pengambilan data sesudah *turbine washing* (tanggal 11 September) dengan nilai *turbine heat rate* yaitu 3,607.3453 kg/kWh pada gambar 8. Semakin kecil nilai *turbine heat rate* maka daya pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh generator akan semakin besar, dengan kata lain nilai *turbine heat rate* semakin baik apabila memiliki nilai yang rendah untuk membangkitkan daya listrik.



Gambar 9. Perbandingan Efisiensi Termal Turbin Uap Terhadap Waktu Operasi Harian

Efisiensi termal turbin uap merupakan nilai presentase dari energi panas yang dikonversikan mejadi kerja karena adanya panas yang hilang saat diubah menjadi kerja turbin. Pada gambar 9 menunjukkan bahwa efisiensi termal turbin uap sesudah dilakukannya *turbine washing* memiliki rata - rata kenaikan sebesar 0.0082 % yaitu dari 99.4405 % saat sebelum dilakukannya *turbine washing* kemudian menjadi 99.4487 % sesudah dilakukannya *turbine washing*. Namun demikian, sebelum maupun sesudah dilakukannya *turbine washing* memiliki hasil yang fluktuatif dengan masih dikategorikan dalam kondisi yang masih baik dengan nilai 98.5324 % - 99.8007 %.

Pada pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Yerson dan Bambang (Yerson dan Prasetyo, 2017) melakukan analisis Optimalisasi *Heat Rate* Turbin Gas PLTG 250 MW Dengan *Offline Washing Blade Compressor*, *heat rate* mengalami penurunan sebesar 35 kcal/kWh atau 146,44 kJ/kWh, dimana pada penelitian ini *heat rate* turbin juga mengalami penurunan rata - rata sebesar 0,29 kJ/kWh sesudah dilakukannya kegiatan *turbine washing*. Kemudian pada penelitian yang dilakukan oleh Setiawan, dkk (Setiawan, dkk., 2017) melakukan analisis mengenai kegiatan *compressor washing* pada turbin gas blok 1.1 PLTG UP Muara Tawar didapatkan efisiensi termal setelah dilakukan *compressor washing* mengalami kenaikan sekitar 1.461 %, dimana pada penelitian ini efisiensi termal juga mengalami peningkatan setelah dilakukannya *turbine washing* dengan rata - rata kenaikan sebesar 0.0082 %. Semakin kecil nilai *turbine heat rate* maka daya pembangkitan listrik yang dihasilkan oleh generator dan efisiensi termal turbin akan semakin besar.

#### 4. SIMPULAN

Kegiatan *turbine washing* dapat meningkatkan efisiensi isentropik dan efisiensi termal turbin uap. Perbandingan efisiensi turbin uap saat sebelum dan sesudah dilakukannya *turbine washing* dapat dilihat berdasarkan efisiensi isentropik dan efisiensi termal turbin uap, dimana efisiensi

isentropik dan efisiensi termal turbin uap sesudah dilakukannya *turbine washing* mengalami kenaikan dengan rata - rata mencapai 0.0564 % untuk efisiensi isentropik dan 0.0082 % untuk efisiensi termal.

Daya pembangkit aktual turbin uap saat sesudah dilakukannya *turbine washing* mengalami rata - rata kenaikan sebesar 162.72 kW atau 0.163 MW dengan daya pembangkit listrik terbesar yaitu 54,500 kW atau 54.5 MW dengan nilai *steam rate* 7.5963 kg/kWh dan *turbine heat rate* 3,607.3453 kJ/kWh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anggeraini, M., Abadi, C.S. and Mardiansah, D., 2019. Analisis Pengaruh Turbine Washing Terhadap Performa Turbin Uap Dan Daya Pembangkitan. In *Seminar Nasional Teknik Mesin 2018*, hal. 553-560.
- Aziz, A. dan Ola, K., 2019. Kajian Terbentuknya Scaling pada Komponen Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Skala Kecil, *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 20(1), hal. 29. doi: 10.29122/jtl.v20i1.2832.
- Balqis, 2017. *Instruction Manual Of Unit Demin Plant PLTP Unit Kamojang Garut*, Bandung: CV. Balqis.
- Boyce, M.P. and Gonzalez, F., 2007. A study of on-line and off-line turbine washing to optimize the operation of a gas turbine', *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. 129(1), hal. 114-122.
- DiPippo, R., 2015. *Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact*. 4rd Ed. Butterworth-Heinemann.
- Directorate General EBTKE, 2016. Statistik EBTKE 2016. [Online], <https://ebtke.esdm.go.id/post/2017/03/07/1583/statistik.ebtke.2016>. diakses 12 Januari 2021.
- International Electrotechnical Commission, 1990. *Rules For Steam Turbine Therma Acceptance Tests (Part 1 : Method A - High Accuracy For Large Condensing Steam Turbine)*, International Electrotechnical Commission.
- International Electrotechnical Commission, 2021. *Rules For Steam Turbine Therma Acceptance Tests (Part 3 : Thermal Performance Verification Tests Of Retrofitted Steam Turbines)*, International Electrotechnical Commission.
- Kanoglu, M. and Dincer, I., 2009. Performance assessment of cogeneration plants. *energy conversion and management*, 50(1), pp.76-81.
- Kurniasari, B., Handajadi, W., dan Hani, S. 2019. 'Analisa Efisiensi Turbin Generator Berdasarkan Kualitas Daya Pada PLTU Pabrik Gula Madukismo', *Jurnal Elektrikal*, Vol. 4 No. 2, hal. 20-27.
- Kusuma, G. A. dkk. 2018. Analisa Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahendong Unit 5 Dan 6 Di Tompasso, *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 7(2), hal. 123-134. doi: 10.35793/jtek.7.2.2018.19614.
- Okwuejunti, E. dan Kehinde, B., 2015. Operation and Maintenance Schedule of a Steam Turbine Plant: A Case Study of Egbin Thermal Power Station. *Thesis*, Saimaa University of Applied Sciences, Faculty of Technology Department Of Mechanical Engineering and Production Technology.
- Setiawan, B., Hidayat, G. dan Cahyono, S. D. 2017. Analisis Pengaruh Compressor Washing Terhadap Efisiensi Kompresor Dan Efisiensi Thermal Turbin Gas, *Jurnal Mesin Teknologi (SINTEK Jurnal)*, 11(1), hal. 49-54.
- Stasenko, D. dan Redovan, J., 2000. *Steam Turbine Water Washing How To Safely Remove Water-Soluble Mineral Deposits Under Normal Operating Conditions*, Operation and Maintenance.
- Thamrin, I. dan Pamungkas, R., 2015. Pengaruh Perawatan Kompresor Dengan Metode Chemical Wash Terhadap Unjuk Kerja Siklus Turbin Gas dan Karakteristik Aliran Isentropik Pada Turbin Impuls GE MS 6001B di Pertamina UP III Plaju, *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), hal. 10-16.
- ASME, 2005. *ASME PTC 6-2004*, The American Society Of Mechanical Engineers.
- Yerson dan Prasetyo, B. T. 2017. Optimalisasi heat rate turbin gas PLTG 250 MW dengan offline washing blade compressor, *Presisi*, 18(2), hal. 1-4.



