



ANALISIS *PERFORMANCE BACKPRESSURE* TURBIN SEBELUM DAN SESUDAH TURBIN *WASHING* PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS BUMI SARULLA UNIT SILANGKITANG

Aris Kevin Sitompul^a, Roy Indra Sianturi^b, Faisal Fahmi Hasan^a

^aProgram Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan, Jl. Almamater No.1, Padang Bulan, Kec. Medan Baru, Kota medan, Sumatera Utara 20155, Indonesia

^bPLTP Sarulla Unit Silangkitang, Pardomuan Nainggolan, Pahae Jae, Kab. Tapanuli Utara, Sumatera Utara, 22465, Indonesia

E-mail: arissitompul@students.polmed.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 13 Mei 2022

Direvisi pada 22 Juli 2022

Disetujui pada 15 Agustus 2022

Tersedia daring pada 15 Agustus 2022

Kata kunci:

Turbin *washing*, *fouling*, efisiensi turbin

Keywords:

Turbine *Washing*, *Fouling*, Turbine

Efficiency

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) memiliki komponen utama yaitu turbin uap. Penurunan performa turbin uap akan memengaruhi kendala pembangkit dan daya pembangkitan, sehingga pembangkit tidak mampu memenuhi Daya Mampu Netto (DMN) yang disetujui atau disebut *derating*. Penurunan performa turbin, salah satunya disebabkan kandungan pada uap utama seperti H₂S, CO₂, NH₃, CH₄, N₂, He, Ar dan Ne tidak dapat tersaring oleh demister maupun separator, sehingga terjadinya penumpukan atau menempelnya kotoran (*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* untuk menjaga performa dan mengurangi *fouling*.

ABSTRACT

Geothermal Power Plant (PLTP) has a main component, namely a steam turbine. The decline in turbine performance will affect the development of power plants and generation, so that the plant is not able to meet the approved Net Capability (DMN) or is called de-rating. The decrease in turbine performance, one of which is due to the content of the main steam such as H₂S, CO₂, NH₃, CH₄, N₂, He, Ar and Ne could not be filtered by the demister or separator, resulting in fouling in the turbine and lowering power generation. Efforts made to improve turbine performance due to fouling include water washing on the turbine or turbine washing system. Turbine washing system is turbine washing especially on blades to maintain performance and reduce fouling.

1. PENGANTAR

Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah tenaga listrik yang dihasilkan dari gerak turbin yang digerakkan oleh panas bumi. Cara pemanfaatannya adalah dengan membuat sumur yang kedalamannya mencapai titik panas bumi, lalu panas tersebut dialirkan ke lokasi turbin untuk menggerakkan turbin. Potensi tenaga panas bumi yang besar di Indonesia menjadikan pembangunan PLTP sebagai salah satu prioritas nasional bidang energi (Handika Roberto Nainggolan, 2016). Perkembangan teknologi yang semakin pesat membuat kebutuhan tenaga listrik yang semakin meningkat, baik kebutuhan dibidang industri, perdagangan, maupun kebutuhan listrik rumah tangga. Energi listrik tidak dapat dipisahkan dari kehidupan masyarakat yaitu semakin berkembangnya teknologi didasari oleh aktivitas manusia yang semakin banyak dan beraneka-ragam jenis kerumitannya. Salah satu perkembangan yang dilakukan Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP). Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) adalah tenaga listrik yang dihasilkan dari gerak turbin yang digerakkan oleh panas bumi. Pemanfaatannya adalah dengan membuat sumur yang kedalamannya mencapai titik panas bumi, lalu panas tersebut dialirkan ke lokasi turbin untuk menggerakkan turbin (Pangeran Sutan, 2014, Muhammad Arif Fadilah, 2015). Salah satu wilayah yang dijadikan lokasi PLTP adalah Sarulla yang berada di kawasan Gunung Toba, di Desa Silangkitang, Kecamatan Pahae Jae, Kabupaten Tapanuli Utara. PLTP Sarulla merupakan salah satu pembangkit listrik terbesar di dunia, dengan kapasitas 1×110 MW. Adapun kekurangannya yang terjadi di PLTP adanya partikel-partikel debu yang lolos dari penyaringan sehingga menumpuk/menempel pada *blade-blade* kompresor yang dihasilkan turbin maka dari itu cara menanggulangi kekurangan ini dibutuhkan *turbine washing*.

1.1. Komponen PLTP

Komponen PLTP adalah Sarulla yang berada di kawasan Gunung Toba, tepatnya di Desa Silangkitang, Kec. Pahae Jae, Kab. Tapanuli Utara dengan kapasitas 1×110 MW sebagai berikut (Sianturi, R.I.T., 2018):

1.1.1 Sumur Produksi (*Production Wells*)

Sumur produksi merupakan bagian utama dari sistem pengolahan *geothermal* (panas bumi). Sumur panas bumi atau yang disebut juga sumur produksi sumber pemasok utama *geothermal fluid* ke sistem PLTP sebagai pembangkit tenaga listrik. Karena adanya pengaruh temperatur dan tekanan yang berasal dari perut bumi, akan menyebabkan fluida keluar menuju permukaan bumi. Pada sumur panas bumi dipasang beberapa komponen yang dilengkapi beberapa *valve* yang kemudian disebut rangkaian kepala sumur.

1.1.2 Separator

Separator adalah komponen utama pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) yang merupakan sebuah alat pemisah uap atau gas dari fluida panas bumi menggunakan prinsip pemisahan dan pengumpulan partikel (*the dust separation and collection*). Banyak alat yang digunakan pada alat pemisahan partikel kering diadaptasi untuk pemisahan *liquid*. Gambar 1 menunjukkan separator pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang.



Gambar 1: Separator (Sianturi, R.I.T., 2018)

1.1.3 Steam Purifier

Steam purifier merupakan unit yang berfungsi memisahkan uap dan air melalui pipa sebelum masuk turbin (Sigit, Joko, 2011). Uap yang dihasilkan dalam pembangkit yang memanfaatkan uap biasanya mengandung kotoran padat normal yang baik dalam keadaan uap atau tercurah, oleh uap sebagai partikel padat kecil atau dibawa oleh kabut air yang terkandung dalam uap basah dalam larutan dalam kabut, yang kemudian dilepaskan dan kondisi kabut diuapkan saat *superheating*. Semua kotoran ini yang menyebabkan masalah dalam turbin uap, dan peralatan lainnya dengan membentuk endapan atau kerak pada berbagai permukaannya, perubahan profil dari berbagai bagian *streamline* seperti pisau turbin dan nozel berakibat efisiensi turbin dapat berkurang secara nyata. Oleh karena itu, berbagai perangkat untuk menghilangkan kotoran atau pemurnian uap dan gambar 2 menunjukkan dari *steam purifier* pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang.



Gambar 2: Steam Purifer (Sianturi, R.I.T., 2018)

1.1.4 Turbin

Turbin adalah mesin penggerak dimana energi fluida kerja yaitu uap dan dipergunakan langsung untuk memutar roda turbin. Bagian turbin yang berputar dinamakan roda turbin. Roda turbin ini terletak didalam rumah turbin dan memutar poros yang menggerakkan atau memutar bebannya, yang dalam hal ini adalah generator listrik (Gazaly, Aejelina El., 2018). Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan dengan kopel dan generator akan merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Jenis turbin yang digunakan di *Sarulla Operation Ltd. (SOL)* adalah jenis turbin uap *backpressure* dimana uap yang telah dipakai untuk menendang sudu turbin dapat diproses kembali dan digunakan untuk proses selanjutnya yaitu menggerakkan turbin yang lain. Gambar 3 menunjukkan gambar turbin pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang (Sianturi, R.I.T., 2018).

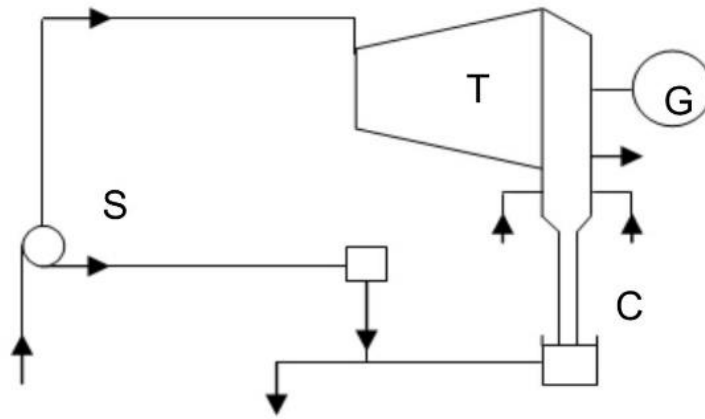


Gambar 3: Turbin (Sianturi, R.I.T, 2018)

1.2. Siklus Kerja PLTP

1.2.1 Single Flash System

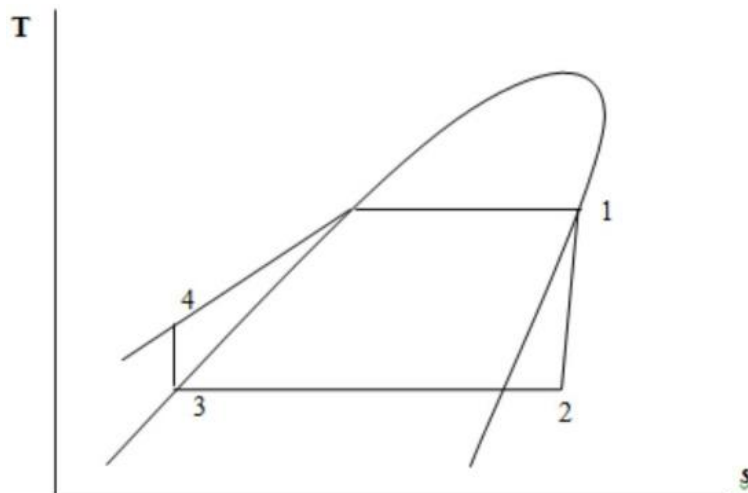
Fluida pada kepala sumur merupakan sumber campuran dua fasa cair dan uap di dalam separator dimana tekanan diturunkan dan kandungan air dipisahkan sedangkan uap digunakan untuk memutar turbin. Pembangkit listrik tenaga panas bumi dengan tipe *flashed steam system* lebih sulit dalam beberapa hal, yaitu jumlah massa fluida kerja yang diperlukan banyak, kedalaman sumur dalam, kandungan mineral yang lebih banyak sehingga diperlukan desain khusus peralatan pipa-pipa, pompa-pompa, separator, dan lain-lain. Pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang menerapkan sistem *single flash* yaitu uap dari dalam sumur dipompa menuju separator untuk dipisahkan kandungan uap air sehingga di dapat uap air yang kering. Air hasil pemisahan dari separator kemudian dialirkan menuju siklus kombinasi selanjutnya. Uap kering dari separator kemudian dialirkan menuju ke *scrubbing*. Didalam *scrubbing* uap tersebut disaring lagi untuk membuang kondensat yang terbentuk sebelum masuk ke dalam turbin sehingga uap yang digunakan diharapkan uap yang betul-betul kering dan bersih. Setelah itu uap masuk ke dalam turbin yang sudah dikopel dengan generator untuk melakukan kerja dan membangkitkan listrik. Uap yang keluar dari turbin kemudian dikondensasikan ke dalam kondensor untuk menjadi cair kembali dan dialirkan menuju ke *cooling tower* atau menara pendingin. Didalam menara pendingin air hasil kondensasi tersebut didinginkan hingga suhu tertentu kemudian air tersebut dialirkan menuju siklus kombinasi sebelum diinjeksikan kembali ke dalam perut bumi. Gambar 4 menunjukkan skematik *single flash system* (Gerry dkk., 2019).



Gambar 4: *Single Flash System* (Gerry dkk., 2019)

1.2.2 Binary Cycle System

Binary cycle system atau sistem siklus biner yaitu untuk peningkatan efisiensi, air di dalam tanah digunakan sebagai sumber air panas pada siklus tertutup untuk memanaskan fluida organik dan dipompakan kembali ke dalam tanah atau reinjeksi. Di dalam penukar kalor terjadi pertukaran kalor antara fluida panas bumi dengan fluida organik, sehingga diperoleh uap yang kering untuk menggerakkan turbin dengan siklus rankin tertutup dan selanjutnya dikondensasikan di dalam *surface condenser* dan kondensat dipompakan kembali ke *heat exchanger*. Gambar 5 menunjukkan diagram T-s PLTP Siklus Biner (Gerry dkk., 2019).



Gambar 5: Diagram T-s PLTP Siklus Biner (Gerry, dkk., 2018)

1.3. Perhitungan Efisiensi

Efisiensi didefinisikan sebagai perbandingan antara *output* terhadap *input* dalam suatu proses. Efisiensi merupakan salah satu persamaan yang penting dalam termodinamika untuk mengetahui seberapa baik konversi energi atau proses transfer terjadi (Teguh Priambodo dan M. Aan Auliq, 2015). Perhitungan efisiensi turbin uap sebagai berikut (Masruroh, Cecep & Deby, 2017):

1.3.1 Efisiensi Turbin

Efisiensi adalah merupakan kinerja konversi energi yang dilakukan peralatan sehingga efisiensi termal turbin dapat dihitung dengan standar CEI/IEC 953-1 pada persamaan 1:

$$\eta_{\text{termal}} = \frac{P_{\text{generator}}}{WT_{\text{aktual}}} \times 100\% \quad (1)$$

1.3.2 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 dibanding dengan entalpi ideal. Sehingga keberhasilan turbin dapat dilihat dari entalpi aktual dan entalpi ideal. Efisiensi isentropik dapat dihitung dengan standar CEI/IEC 60953-3 pada persamaan 2 :

$$\eta_{\text{isentropik}} = \frac{WT_{\text{aktual}}}{WT_{\text{isentropik}}} \times 100\% \quad (2)$$

1.3.3 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* persamaan 3:

$$SR = \frac{\dot{m}s}{P_{generator}} \quad (3)$$

1.3.4 Turbine Heat Rate

Turbine heat rate merupakan kuantitas uap yang diperlukan 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 neto yang dihasilkan oleh generator. *Turbine heat rate* dapat dihitung dengan persamaan 4 :

$$THR = \frac{\text{Net Heat Rate The Cycle}}{\text{Output}} \quad (4)$$

Atau dihitung dengan persamaan 5

$$THR = \frac{3600}{\eta_{\text{termal}}} \text{ kJ/kWh} \quad (5)$$

1.3.5 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 6 dibawah ini:

$$\eta_{gen} = \frac{\text{Beban}}{WT_{aktual}} \times 100\% \quad (6)$$

Untuk mencari daya aktual yang dihasilkan oleh turbin dilakukan dengan mengalikan energi yang dihasilkan turbin dengan efisiensi turbin. Atau dengan perbandingan daya yang dihasilkan dengan generator dengan efisiensi generator. Sehingga, untuk mencari WT_{aktual} , menggunakan persamaan 7 dibawah ini (Masruroh, Cecep & Deby, 2017):

$$WT_{aktual} = \frac{P_{generator}}{\eta_{generator}} \quad (7)$$

Dimana:

- h_1 = Entalpi yang akan masuk turbin (kJ/kg)
- h_2 = Entalpi yang akan keluar turbin (kJ/kg)
- h_{2s} = Entalpi yang akan keluar turbin (aktual) (kJ/kg)
- $\dot{m}s$ = Laju aliran massa uap (kg/s)
- η = Efisiensi (%)
- DMN = Daya mampu netto
- W_{aktual} = Daya yang dihasilkan turbin secara aktual
- THR = *Turbine heat rate* (kJ/kWh)
- WT = Kerja turbin (kW)
- SR = *Steam rate* (kg/kWh)
- P_{gen} = Energi listrik yang dihasilkan generator (MWh)

2. METODE

2.1. Spesifikasi Turbin uap

Adapun spesifikasi turbin uap yang digunakan pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang, terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1: Spesifikasi Turbin Triveni pada PT. Perkebunan Lembah Bhakti

Type	Backpressure, Single flow Upward, Exhaust Type
Quantitu	IEA
Stage Number	5 stage × 1 flow
Speed Direction	3000 rpm counter clock wise (view from the turbine front standard)
Rated Output	58,350 kW
Main steam Pressure	10.3 bara
Main Steam Temperature	179.9 °C
NCG Rate	6.57 w/w%
Steam Flow	722000 kg/h (Steam 674565kg/h, NCG 47,345 kg/h)
Exhaust Pressure	1.3 bara

2.2. Komponen-komponen Bantu Turbin Uap

2.2.1 Scrubbing Pump

Scrubbing pump memanfaatkan sealing untuk pendinginan *mechanical sealing* di *booster pump*, hal ini dilakukan karena perbedaan suhu antara *booster pump* dengan fluida yang akan di transfer menuju sumur injeksi.

2.2.2 Valve Suction

Valve/katup ini digunakan untuk menyetop aliran fluida ke pompa sewaktu-waktu dibutuhkan misalnya saat perbaikan pompa supaya air tidak meluber ruang/rumah pompa., mengamankan pompa dari pasir atau benda-benda asing yang mungkin terbawa oleh aliran fluida.

2.2.3 Valve Discharge

Valve discharge berfungsi untuk menurunkan kecepatan aliran fluida dalam pipa (berkisar 0,6 – 2,5 m/det) sehingga *headlosses* yang terjadi tidak terlalu besar, supaya getaran pompa tidak diteruskan ke sistem instalasi perpipaannya, mencegah supaya saat pompa mati aliran balik fluida tidak menghantam impeller pompa, mengatur operasi pompa dan menutup aliran fluida pada saat *maintenance* pompa, dan mengetahui tekanan operasi pompa.

2.2.4 Flow Transmitter

Flow transmitter merupakan salah satu bagian penting dari proses pengontrolan. Transmitter dapat didefinisikan sebagai suatu alat yang berfungsi untuk mengirimkan sinyal proses yang berasal dari alat pendeteksi (sensor) ke bagian pengendali, yang mana sebelumnya sinyal proses tersebut diubah ke bentuk sinyal pneumatik atau sinyal elektrik, sesuai dengan jenis *transmitter* itu sendiri.

2.2.5 Downstream

Katup kontrol tekanan hilir (*downstream*) yang digerakkan sendiri adalah katup yang mengontrol tekanan hilir dan tipe aksi katup adalah tipe tekan untuk menutup. Ketika tekanan hilir lebih besar dari titik setel yang disesuaikan, itu memampatkan pegas dan menggerakkan steker, dan kemudian pembukaan katup dikurangi secara proporsional esai dengan jumlah perubahan tekanan.

2.2.6 Upstream

Katup kontrol tekanan hulu (*upstream*) yang digerakkan sendiri adalah katup yang mengontrol tekanan di hulu dan jenis tindakan katup adalah jenis tekan untuk membuka. Ketika tekanan hulu lebih besar dari titik *set up* yang disesuaikan maka akan menekan pegas, menggerakkan steker. Katup akan terbuka maka pembukaan katup meningkat secara proporsional dengan meningkatnya tekanan. Apabila tekanan hulu berkurang menyebabkan gaya yang bekerja pada elemen pendeteksi berkurang.

2.3. Operasional Turbine Washing

Uap dari dalam sumur di pompa menuju separator untuk dipisahkan kandungan uap dan air sehingga di dapat uap yang kering. Air hasil pemisahan dari separator kemudian dialirkan menuju *settling basin* atau kolam pengendapan untuk di injeksikan lagi ke dalam perut bumi. *Turbine washing* dilakukan dengan membuka *valve suction* untuk *scrubbing pump*. Uap kering dari separator kemudian dialirkan menuju ke *scrubber* dan kemudian membuka *valve discharge* pada *scrubbing pump*. Di dalam *Scrubber* uap tersebut dilakukan *downstream* dan *upstream* pada *flow transmitter* atau saring lagi untuk membuang kondensat yang terbentuk sebelum masuk ke dalam turbin sehingga uap yang digunakan diharapkan uap yang betul-betul kering dan bersih. Setelah itu uap masuk ke dalam turbin yang sudah dikopel dengan generator untuk melakukan kerja dan membangkitkan listrik. Setelah itu melihat nilai aliran yang masuk ke dalam turbin, mengatur flow sesuai kebutuhan, melakukan *stop scrubbing pump* P-5001 A atau P-5001 B dan menutup *control valve bagian downstream* dan *upstream* pada *flow transmitter*. Uap yang keluar dari turbin kemudian dikondensasikan ke dalam kondenser untuk menjadi cair kembali dan dialirkan menuju ke *Cooling Tower* atau menara pendingin. Di dalam menara pendingin air hasil kondensasi tersebut didinginkan hingga suhu tertentu kemudian air tersebut dialirkan menuju kolam pengendapan sebelum diinjeksikan kembali ke dalam perut bumi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data diperoleh dari PLTP Sarulla Unit Silangkitang serta wawancara langsung dengan karyawan PLTP Sarulla Unit Silangkitang dengan membandingkan data hasil pengoperasian awal kerja *turbine washing* pada tanggal 31 Mei 2021 jam 24:00 dan pengoperasian akhir kerja *turbine washing* pada tanggal 12 Juni 2021 jam 24:00.

3.1. Data Analisis

Berdasarkan data performansi turbin pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang diperoleh data mulai dari tanggal 31 Mei 2021 – 12 Juni 2021 seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2: Data Analisis

Tipe Data	Sebelum Turbin Washing (31 Mei 2021)	Sesudah Turbin Washing (12 Juni 2021)
Inlet Entalphi (kJ/kg)	2798	2798
Outlet Entalphi (kJ/kg)	2340	2319
Steam flow rate (T/hrs)	488	467
Putaran (rpm)	3014	3017
Power Factor (PF)	0.998	0.999
Ambient Temperature (°C)	27.28	26.85

3.2. Analisis Performansi Turbin Sebelum dan Sesudah Turbin Washing

Perhitungan dilakukan dengan melihat perbandingan data sebelum *turbine washing* pada tanggal 31 Mei 2021 dan sesudah *turbine washing* pada tanggal 12 Juni 2021.

3.2.1 Menghitung Daya Turbin

Daya turbin sebelum *turbine washing* pada persamaan 8:

$$\begin{aligned}
 WT &= ms (h_{Inlet} - h_{outlet}) & (8) \\
 &= 488 \text{ Ton/jam} (2798 \text{ kJ/kg} - 2340 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 135,556 \text{ kg/s} (458 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 62084,64 \text{ kJ/s} \\
 &= 62,10 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Sesudah *turbine washing*:

$$\begin{aligned}
 WT &= ms (h_{Inlet} - h_{outlet}) \\
 &= 467 \text{ Ton/jam} (2798 \text{ kJ/kg} - 2319 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 129,722 \text{ Kg/s} (479 \text{ kJ/kg}) \\
 &= 62,14 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan data di lapangan diketahui daya turbin sebelum *turbine washing* 62,10 MW dan sesudah *turbine washing* 62,14 MW.

3.2.2 Menghitung Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin sebelum *turbine washing* pada persamaan 9:

$$\begin{aligned}
 \eta_T &= \frac{P_{Generator}}{WT_{aktual}} \times 100\% & (9) \\
 &= \frac{61,97}{62,10} \times 100\% \\
 &= 99,77\%
 \end{aligned}$$

Efisiensi turbin sesudah *turbine washing* pada persamaan 10:

$$\begin{aligned}
 \eta_T &= \frac{P_{Generator}}{WT_{aktual}} \times 100\% & (10) \\
 &= \frac{62,07}{62,14} \times 100\% \\
 &= 99,31\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, efisiensi turbin sebelum *turbine washing* adalah 99,77% dan sesudah *turbine washing* adalah 99,31%.

3.2.3 Daya Turbin Generator

Daya turbin sebelum *turbine washing* pada persamaan 11:

$$\begin{aligned}
 \text{Cos } \varphi & \text{ rata-rata} = 0,998 \text{ (nilai rata-rata Cos } \varphi \text{ dari hasil pengamatan pada panel turbin) (Pangeran Sutan, 2014).} \\
 \text{WTG} &= WT \times \text{Cos } \varphi & (11) \\
 &= 62,10 \times 0,998 \\
 &= 61,97 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Daya turbin sesudah *turbine washing* persamaan 12:

$$\begin{aligned}
 \text{WTG} &= WT \times \text{cos } \varphi & (12) \\
 &= 62,14 \times 0,999 \\
 &= 62,07 \text{ MW}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan, daya turbin generator sebelum *turbine washing* adalah 61,97 MW dan sesudah *turbine washing* adalah 62,07 MW.

3.2.4 Efisiensi Turbin Generator

Efisiensi turbin generator sebelum *turbine washing* pada persamaan 13:

$$\begin{aligned} \eta_{gen} &= \frac{\text{Beban}}{WT_{aktual}} \times 100\% \\ &= \frac{61,97}{63,66} \times 100\% \\ &= 97,34\% \end{aligned} \quad (13)$$

Efisiensi turbin generator sesudah *turbine washing* pada persamaan 14:

$$\begin{aligned} \eta_{gen} &= \frac{\text{Beban}}{WT_{aktual}} \times 100\% \\ &= \frac{62,07}{62,51} \times 100\% \\ &= 99,29\% \end{aligned} \quad (14)$$

Berdasarkan perhitungan, efisiensi turbin generator sebelum *turbine washing* adalah 97,34 % dan sesudah *turbine washing* adalah 99,29 %.

3.2 Pembahasan

Setelah dilakukannya *turbine washing* pada PLTP Sarulla Unit Silangkitang pada tanggal 31 Mei 2021 sampai dengan 12 Juni 2021 diperoleh daya turbin sebelum *turbine washing* adalah 62,10 MW dan sesudah turbin *washing* adalah 62,14 MW. Berdasarkan perhitungan, efisiensi turbin sebelum *turbine washing* adalah 99,71% dan sesudah turbin *washing* adalah 99,32%. Daya turbin generator sebelum *turbine washing* adalah 61,97 MW dan sesudah *turbine washing* adalah 62,07 MW. Adapun Efisiensi turbin generator sebelum *turbine washing* adalah 97,34 % dan sesudah turbin *washing* adalah 99,29 % (Masrurroh, Cecep & Deby, 2017). Melihat perbandingan dengan referensi yang ada dapat disimpulkan bahwa laju aliran *massa uap*, tekanan masuk, temperatur masuk dan temperatur keluar sangat berpengaruh terhadap performansi turbin uap. Adapun Yehezkiel E Tampubolon (2020) menyatakan adanya daya kotor pada saat konversinya dari energi panas ke energi mekanis dan kemudian baru diubah ke bentuk energi listrik yang diperoleh dari terminal generatormya sebesar 15% sehingga kinerja turbin mencapai diatas 80%.

4. KESIMPULAN

Turbin uap pada pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) merupakan sumber utama pembangkit tenaga listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik yang dibutuhkan oleh pabrik. Potensi energi listrik panas bumi yang dapat dibangkitkan pada sumur II mencapai 137 MW sehingga dapat membantu pasokan listrik di Sumatera Utara atau mengantisipasi defisit listrik di Sumatera Utara. Komponen-komponen dari turbin uap terdiri dari *scrubbing pump*, *valve suction*, *valve discharge*, *flow transmitter*, *downstream*, dan *upstream*. Terjadi kenaikan daya turbin uap sebesar 2% dan efisiensi turbin sebelum *turbine washing* dan sesudah *turbine washing* sebesar 1% sehingga laju aliran *massa uap*, tekanan masuk, temperatur masuk dan temperatur keluar sangat berpengaruh terhadap performansi turbin uap.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur karena berkat dan rahmat yang maha kuasa penulis dapat menyelesaikan artikel ini, serta terima kasih yang sedalamnya karena dukungan finansial yang diberikan oleh Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi melalui Pusat Penelitian Pengabdian Masyarakat, Politeknik Negeri Medan dan Jurusan Teknik Mesin POLMED.

DAFTAR PUSTAKA

- Aejelina El, G. (2018). Makalah Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (*Geothermal*). Diakses Agustus 2021. https://www.academia.edu/36440972/makalah_pembangkit_listrik_tenaga_panas_bumi_geothermal_oleh_aejelina_el_gazaly_1720952004_pascasarjana_teknik_elektro_universitas_andalas_padang.
- Fadillah, M. A. (2015). *Analisa Performansi Turbin Gas Putaran 3000 RPM Pembangkit Listrik Gas Sicanang Sebelum dan Sesudah Compressor Washing*. Diakses Juli 2021. <http://library.polmed.ac.id>.
- Gerry, Glanny & Marthinus. (2018). Analisis Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi Lahedong Unit 5 dan 6 di Tompaso. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer* 7, 123-134.
- G Sutan, P. (2014). Perhitungan Daya Turbin Uap Dan Generator. Perhitungan Daya Turbin Uap Dan Generator. Diakses Agustus 2021. https://www.academia.edu/36175190/Perhitungan_Daya_Turbin_Uap_Dan_Generator.
- Joko, S. (2011). Sistem Control Valve Pada Aftercooler (E-103) di PT. Geo Dipa Energi Unit Dieng. Diakses Agustus. <https://adoc.pub/download/makalah-seminar-kerja-praktek-sistem-control-valve-pada-afte.html>.
- Masrurroh, A., Cecep S.A. & Deby, M. (2017). Analisis Pengaruh *Turbine Washing* Terhadap Performa Turbin Uap dan Daya Pembangkitan. *Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta 1*, 553-560.
- Musa L., Rahman A., Ikril, G., & Sombokanan, T. (2019). Analisis Performansi Turbin dan Generator di PLTP Lahedong Unit 1 Tomohan. *Sinergi* 17, 25-36.
- Made, S. (2017) Pedoman Praktikum Prestasi Mesin Bagian: Pompa. Diakses Juli 2021. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_1_dir/e750416c01fb873140d7d67ef1090053.pdf.

- Nainggolan, H. R. (2016). Studi Prakiraan Potensi Pembangkit Listrik Panas Bumi Di Pusuk Buhit Kelurahan Siogungogung Kabupaten Samosir. Universitas Sumatera Utara. Diakses Agustus 2021. *Online* <http://repositori.usu.ac.id/bitstream/handle/123456789/28036/130402091.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Napitu, A. (2019). *A Study of Brine Supply System To Binary Cycle Unit* at Namora I Langit Geothermal power plant. 7th ITB International Geothermal Workshop (IIGW2018). IOP Publishing. Diakses Agustus 2021. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/254/1/012013/pdf>.
- Priambodo T & M. Aan Auliq, M.A. Analisa perhitungan efisiensi daya turbin generator siemens st-300 7 MW Di PTPN XI (unit) PG. Semboro. Diakses Juni 2021. *Online* <http://repository.unmuhjember.ac.id/7265/1/JURNAL.pdf>.
- Sianturi, R.I.T. (2018). Analisa Daya dan Efisiensi Generator Sinkron Pada PLTP Sarulla Operation Limited Unit Namorai Langit 1 Area STG 10 Dengan Kapasitas 87100 KVA. Politeknik Negeri Medan.
- Tampubolon, Y.E. (2020). Studi Prakiraan Potensi Pembangkit Listrik Panas Bumi Di PLTP Sarulla. Universitas Sumatera Utara. Diakses Juli 2021. *Online* <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/28036>