



Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Setelah Proses Overhaul di PT Pertamina Geothermal Energi Area Kamojang

Steam Turbine Performance Analysis Before and After Overhaul Process at PT Pertamina Geothermal Energy Kamojang Area

Elli Prastyo^{1*}, Indah Dhamayanthie¹

¹Teknik Kimia, Akamigas Balongan
Jalan Soekarno Hatta, Indramayu, 45216, Indonesia
Corresponding Author. Email: elli.prastyo@gmail.com

Received: 10th November 2021; Revised: 19th January 2022; Accepted: 27th January 2022

ABSTRACT

One of the important components in geothermal power generation is steam turbines. One of the decreases in steam turbine performance is caused by excessive workload due to continuous operation. Maintenance of steam turbines through important overhauls is carried out to improve the performance of steam turbines. Actual conditions with ideal conditions are important to know and analyze to know the performance of steam turbines. The operational performance of steam turbines at PT Pertamina Energi Geothermal Area Kamojang can be seen from the value of turbine working specifications (\dot{W}_t), and isentropic efficiency (η_t). Parameters in the form of inlet pressure (P1), outlet pressure (P2), inlet temperature (T1), outlet temperature (T2), and flow rate (m/s) are searched using the ChemicalLogic SteamTab application and linear interpolation methods to determine the value of enthalpy and entropy. The results were obtained that the value of isentropic enthalpy (h_{2s}) before the overhaul amounted to 2,127.41 kJ/kg and after an overhaul of 2,145.91 kJ/kg. Turbine power value (\dot{W}_t) before overhaul was 30,702.88 kW and after overhaul was 36,304.7 kW. Efficiency after overhaul decreased $\pm 1.4\%$ of efficiency before the overhaul.

Keywords: efficiency, enthalpy, entropy, power, turbine

ABSTRAK

Salah satu komponen penting dalam pembangkit listrik tenaga geothermal adalah turbin uap. Penurunan performa turbin uap salah satunya disebabkan beban kerja yang berlebih karena pengoperasian terus menerus. Perawatan turbin uap melalui overhaul penting dilakukan untuk meningkatkan performa dari turbin uap. Kondisi aktual dengan kondisi ideal merupakan suatu hal yang penting untuk diketahui dan dianalisa untuk mengetahui performa turbin uap. Performa operasional turbin uap di PT Pertamina Energi Geothermal Area Kamojang dapat dilihat dari nilai spesifikasi kerja turbin (\dot{W}_t), dan efisiensi *isentropic* (η_t). Parameter berupa tekanan *inlet* (P1), tekanan *outlet* (P2), suhu *inlet* (T1), suhu *outlet* (T2), dan laju alir (m/s) dicari menggunakan aplikasi *ChemicalLogic SteamTab* dan metode interpolasi linier untuk menentukan nilai entalpi dan entropi. Hasil penelitian diperoleh bahwa nilai entalpi isentropis (h_{2s}) sebelum overhaul sebesar 2.127,41 kJ/kg dan setelah overhaul sebesar 2.145,91 kJ/kg. Nilai daya Turbin (\dot{W}_t) sebelum overhaul sebesar 30.702,88 kW dan setelah overhaul sebesar 36.304,7 kW. Efisiensi setelah overhaul mengalami penurunan $\pm 1,4\%$ dari efisiensi sebelum overhaul.

Kata kunci: daya, efisiensi, entalpi, entropi, turbin

Copyright © 2022 by Authors, Published by JITK. This is an open access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: prastyo, e. (2022). Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum dan Setelah Proses Overhaul di PT PERTAMINA GEOTHERMAL ENERGY Area Kamojang. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 6(1), 18-26. doi:<http://dx.doi.org/10.32493/jitk.v6i1.14492>

Permalink/DOI: <http://dx.doi.org/10.32493/jitk.v6i1.14492>



PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang semakin meningkat membuat banyak sektor berlomba untuk menciptakan energi alternatif. Sumber daya energi terbarukan yang memiliki potensi besar salah satunya adalah panas bumi. Sumber cadangan panas bumi di dunia sekitar 40% berada di Indonesia (Gunawan, 2021). Kurangnya pengembangan dan eksploitasi panas bumi menjadi masalah kurangnya pemanfaatan energi ini.

Banyaknya gunung berapi aktif membuat potensi panas bumi di Indonesia mencapai 28.528 MW (Kementerian ESDM, 2020). PT Pertamina Geothermal Energi Area Kamojang merupakan salah satu perusahaan yang memanfaatkan potensi panas bumi menjadi energi listrik. Tipe turbin *single casing multi stage condensing* digunakan untuk merubah energi panas menjadi mekanik di PT Pertamina Geothermal Energi Area Kamojang.

Tiga faktor yang menjadi tuntutan kerja dalam pembangkit listrik adalah keamanan, kehandalan, dan efisiensi alat. Nilai dari tiga faktor tersebut dapat dilakukan perhitungan dan analisis melalui tes unjuk kerja dan histori dari proses perawatan alat. Oleh karena itu untuk menjaga performansi alat penting dilakukan analisis berdasarkan perawatan alat agar dapat menghasilkan energi listrik yang maksimal (Sitepu, 2014).

Kemajuan teknologi mengenai turbin uap yang digunakan pada PLTU modern memberikan sumber informasi otoritatif terhadap proses optimasi desain turbin, pengukuran dan analisis, pengembangan sudu-sudu turbin, dan komponen-komponen penting lainnya, termasuk turbin uap dan *retrofitting* turbin untuk pembangkit listrik terbarukan (Samosir, 2019).

Kualitas maksimal dalam menghasilkan energi listrik dapat dicapai dengan menjaga performansi dari alat yang ada. Alat yang mengubah energi panas uap menjadi energi mekanis adalah turbin uap yang berperan sebagai *prime mover* melalui putaran poros (Musa, 2019). Energi listrik dihasilkan dengan mengkopel poros turbin kemudian diteruskan

menuju generator. Kinerja turbin uap dapat dilihat dari efisiensi termal, turbin *heat rate*, *steam rate*, dan efisiensi *isentropic*. Namun, kinerja turbin uap mengalami penurunan seiring meningkatnya jam operasi. Nilai parameter-parameter tersebut dapat ditingkatkan melalui proses overhaul turbin. Energi mekanik dihasilkan dari mengubah energi termal yang terdapat pada uap untuk memutar generator (Halim, 2019).

Proses overhaul dilakukan dengan proses pengecekan setiap komponen-komponen pada turbin dengan cara membuka bagian yang ada pada turbin gas secara total. Hal ini bertujuan untuk menjaga performa GTG agar tetap stabil atau pada performa maksimal. Proses overhaul dilakukan untuk meningkatkan kinerja turbin dengan mengganti atau melakukan perbaikan di beberapa komponen turbin uap (Tanuma, 2017).

Hal ini sesuai penelitian (Musa, 2019) yang menunjukkan kinerja turbin meningkat dengan nilai 513,837 kJ/kg setelah overhaul dibanding 506,598 kJ/kg ketika sebelum dilakukan overhaul. Kinerja rata-rata turbin meningkat sebesar 1,43% dampak dari overhaul.

Hasil analisis hubungan antara beban generator terhadap kinerja turbin sebelum overhaul menunjukkan beban rata-rata generator sebesar 51,66 MW dihasilkan dari kinerja turbin rata-rata 506,598 kJ/kg. Nilai beban rata-rata generator setelah overhaul sebesar 54,87 MW dihasilkan dari kinerja turbin rata-rata 513,847 kJ/kg. Hasil analisis menunjukkan bahwa beban yang dihasilkan turbin berbanding lurus dengan kinerja turbin. Hasil analisis nilai efisiensi turbin sebelum overhaul memiliki nilai rata-rata sebesar 77,37% dan setelah overhaul 78,75% (Musa, 2019).

Peningkatan beban turbin pada turbin mempengaruhi nilai efisiensi termal yang meningkat dan berdampak terhadap kinerja turbin uap itu sendiri. Analisis turbin uap yang dilakukan di Tarumajaya, Bekasi, Jawa Barat tepatnya di PT PJB Unit Pembangkit Muara Tawar Blok 1 GT 1.1; GT 1.2; dan GT 1.3.



Nilai *Maximum Capacity Rate* sebesar 145 MW dihasilkan oleh PLTG ini dengan berbahan bakar natural gas menunjukkan hal yang serupa (Adriwiyono. Bonavisius, 2018).

Hasil penelitian GT 1.1 menunjukkan bahwa pada setiap pengangkatan beban, maka efisiensi turbin gas meningkat dengan nilai efisiensi tertinggi 93,7% pada beban 136 MW. Hasil analisis mengenai pengaruh overhaul terhadap efisiensi turbin GT 1.1 menunjukkan efisiensi termal meningkat sebesar 1,7% setelah dilakukan overhaul pada bulan Juli 2012. Efisiensi termal menurun sekitar 1,6% setelah penggunaan 6 bulan yaitu pada Januari 2013 (Halim, 2019).

Hasil serupa juga didapatkan pada turbin GT 1.2 dan GT 1.3 mengenai nilai efisiensi termal-beban kerja dan efisiensi termal terhadap overhaul. Dari hasil penelitian ini didapat bahwa efisiensi termal turbin gas PLTGU Muara Tawar Unit 1, 2, dan 3 pada beban 136 MW adalah 36,35%, 35,55%, dan 35,13% (Halim, 2019).

Hasil serupa juga diperoleh di PT PLN sektor pembangkit PLGU Cilegon. Peningkatan efisiensi turbin terjadi setelah dilakukan overhaul dengan kenaikan tertinggi 1,44%, penurunan efisiensi terjadi pada ruang bakar dengan penurunan tertinggi 1,74%, peningkatan efisiensi turbin tertinggi 0,23%, peningkatan tertinggi 0,47% terjadi pada efisiensi termal siklus Brayton, peningkatan tertinggi sebesar 0,27% terjadi pada efisiensi termal efektif, penurunan tertinggi sebesar 114,83 kJ.kWh terjadi pada *heat rate*, dan penurunan konsumsi bahan bakar tertinggi sebesar 697,42 Nm³/h (Nurfitriya, 2018).

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai analisis kinerja turbin uap sebelum dan setelah overhaul dilakukan, belum terdapat pembahasan mengenai efisiensi isentropis terhadap daya yang dihasilkan turbin berdasarkan nilai entalpi sebelum dan setelah overhaul. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan analisis kinerja turbin berdasarkan efisiensi isentropis, daya yang dihasilkan turbin dan entalpi berdasarkan temperatur fluida.

Penulis berharap dari artikel ini dapat memperkaya pengetahuan mengenai energi geothermal dan ilmu termodinamika terkait dengan perbandingan efisiensi isentropis, daya turbin desain dan aktual yang belum dibahas pada penelitian sebelumnya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini merupakan analisis performansi turbin uap di PT Pertamina Geothermal Energi Area Kamojang. Cara pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Observasi Lapangan

Penelitian dilakukan secara langsung terhadap obyek penelitian untuk memperoleh data-data yang akan diperlukan dengan turun langsung ke lapangan dan memahami system yang ada di PLTU Pertamina Geothermal dari proses menghasilkan uap untuk kerja sistem hingga mendapatkan hasil yaitu listrik (MW)

2. Pengambilan Data

Setelah melakukan observasi lapangan, dilakukan pengambilan data sesuai yang dibutuhkan. Agar data - data yang diperoleh itu valid, tidak hanya mencantumkan data yang diperoleh dari operator (*control room*) tapi juga mencatat data pada alat mesin tersebut, sehingga diperoleh data aktual dan data dari *control room*. Data – data yang tersebut diambil dibagi menjadi 2 yaitu sebelum overhaul pada 30 Januari – 8 Februari 2020 dan setelah overhaul pada tanggal 19 – 27 Februari 2020 di PT Pertamina Geothermal Energi Kamojang.

3. Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui kinerja turbin sebelum dan setelah proses overhaul dengan persamaan Baumann dan diselesaikan dengan bantuan software *ChemicaLogic SteamTab Companion*.



Performansi turbin dalam penelitian ini ditinjau dari nilai entalpi yang dihasilkan berdasarkan kondisi operasi fluida masuk dan keluar turbin untuk mendapatkan nilai efisiensi isentropik turbin. Efisiensi isentropik digunakan untuk mengetahui performansi dari segi efisiensi ataupun *energi loss* yang terjadi. Data yang dibutuhkan untuk menentukan nilai efisiensi isentropik dan daya turbin yaitu temperatur, tekanan, desain alat, entalpi, kualitas uap, dan *flow rate* uap.

a. Perhitungan Kualitas Uap

Perhitungan kualitas uap keluaran kondensor dapat diselesaikan menggunakan persamaan berikut (Cengel, 2015) :

$$X_2 = \frac{S_1 - S_{f2}}{S_{g2} - S_{f2}} \dots\dots\dots(1)$$

b. Perhitungan entalpi ideal

Perhitungan entalpi ideal keluaran turbin (h_{2s}) dapat ditentukan dengan persamaan berikut (Cengel, 2015).

$$h_{2s} = h_{f2} + X \cdot (h_{g2} - h_{f2}) \dots\dots\dots(2)$$

c. Perhitungan entalpi aktual keluar turbin

Entalpi adalah jumlah energi internal dalam suatu sistem untuk melakukan kerja pada tekanan tetap. Persamaan kerja *Baumann* digunakan untuk menentukan nilai entalpi pada kondisi *outlet* turbin aktual (Cengel, 2015).

$$A = 0,425 \cdot (h_1 - h_{2s}) \dots\dots\dots(3)$$

$$h_2 = \frac{h_{1-A} \left[1 - \frac{h_{f2}}{h_{g2} - h_{f2}} \right]}{1 + \left[\frac{A}{h_{g2} - h_{f2}} \right]} \dots\dots\dots(4)$$

d. Perhitungan kerja turbin

Perhitungan kerja turbin aktual ditentukan dengan persamaan berikut (Cengel, 2015).

$$W_e = \eta_g \cdot W_t \dots\dots\dots(5)$$

$$W_t = \frac{W_e}{\eta_g} \dots\dots\dots(6)$$

e. Perhitungan efisiensi isentropis

Efisiensi isentropik merupakan kerja aktual dan ideal dari suatu peralatan. Perpindahan panas antara turbin dan lingkungan diabaikan. Termasuk efek energi kinetik dan potensial (Cengel, 2015).

$$\eta_{\text{turbin}} = \frac{\text{Power Generated}}{\text{Power Isentropis}} \cdot 100 \% \dots\dots\dots(7)$$

$\eta_{\text{turbin}} =$

$$\frac{W_e / \eta_g}{ms (h_1 - h_{2s})} \cdot 100 \% \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- X_2 = kualitas uap (%)
- S_1 = entropi masuk turbin (kJ/kg.K)
- S_{g2} = entropi gas masuk kondensor (kJ/kg.K)
- S_{f2} = entropi *liquid* masuk kondensor (kJ/kg.K)
- h_{2s} = entalpi ideal keluar turbin (kJ/kg)
- h_{f2} = entalpi *liquid* keluar turbin (kJ/kg)
- h_{g2} = entalpi gas keluar turbin (kJ/kg)
- h_{fg2} = entalpi campuran keluar turbin (kJ/kg)
- h_2 = entalpi aktual keluar turbin (kJ/kg)
- h_1 = entalpi gas masuk turbin (kJ/kg)
- S_1 = entropi gas masuk turbin (kJ/kg.K)
- ms = *flow rate* (kg/s)
- W_e = *gross power* listrik (kW)
- η_g = efisiensi generator (%)
- W_t = Daya turbin (kW)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Data operasi turbin sebelum overhaul diambil dari tanggal 30 Januari 2020 – 8 Februari 2020, sedangkan data setelah overhaul diambil 19 Februari 2021 – 27 Februari 2021. Berikut adalah data operasi turbin PT Pertamina Geothermal Area Kamojang sebelum dan sesudah overhaul.

**Tabel 1.** Data Turbin Sebelum Overhaul

Tanggal	Input		Output		Flow Rate (kg/s)	Gross (kW)
	P (barg)	T (°C)	P (barg)	T (°C)		
30	5,9	166,83	0,098	44,63	60,77	29662
31	5,9	166,61	0,099	44,80	60,9	29681
1	5,9	166,53	0,099	44,85	61,06	29717
2	5,9	166,78	0,099	44,66	61,1	29798
3	5,9	166,71	0,098	44,51	61,26	29881
4	5,9	166,70	0,099	44,67	61,26	29885
5	5,9	166,66	0,099	44,71	61,27	29883
6	5,9	166,55	0,099	44,72	61,29	29879
7	5,9	166,44	0,098	44,54	61,34	29911
8	5,9	166,00	0,098	44,58	61,46	29828
Average	5,9	166,58	0,099	44,67	61,17	29812,5
Absolute	6,30					

Nilai entalpi fase gas (h_{g2}), entalpi fase cair (h_{f2}), entropi fase cair (s_{f2}) dan entropi fase gas (s_{g2}) sebelum overhaul ditentukan menggunakan software *ChemicalLogic SteamTab Companion* yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2. Data Steam Outlet Saturated Water Sebelum Overhaul

T(°C)	P ₂ (bar)	H _{g2} (kJ/kg)	H _{f2} (kJ/kg)	S _{f2} (kJ/kg.K)	S _{g2} (kJ/kg.K)
44,669	0,098	2583,340	190,580	0,650	8,150

Tabel 3. Data Turbin Setelah Overhaul

Tanggal	Input		Output		Flow Rate (kg/s)	Gross (kW)
	P (barg)	T (°C)	P (barg)	T (°C)		
19	5,45	166,0	0,118	47,7	76,4	35158
20	5,45	165,6	0,117	47,6	76,5	35299
21	5,45	166,0	0,116	47,3	76,0	35305
22	5,42	166,3	0,116	47,3	75,8	35166
23	5,46	166,7	0,117	47,5	75,7	35146
24	5,45	166,9	0,117	47,6	76,0	35297
25	5,46	166,9	0,117	47,5	76,0	35305
26	5,46	167,3	0,117	47,5	76,0	35299
27	5,46	167,4	0,116	47,3	75,9	35292
Average	5,45	166,6	0,117	47,5	76,0	35252
Absolute	6,30					

Tabel 4. Data Steam Outlet Saturated Water Setelah Overhaul

T(°C)	P ₂ (bar)	H _{g2} (kJ/kg)	H _{f2} (kJ/kg)	S _{f2} (kJ/kg.K)	S _{g2} (kJ/kg.K)
47,50	0,117	2586,860	198,900	0,670	8,120



Nilai entalpi masuk (h1) dan entropi masuk (S1) sebelum dan sesudah overhaul dicari berdasarkan data Tabel 1 dan Tabel 2 menggunakan *ChemicaLogic SteamTab Companion* yang ditampilkan pada Tabel 5, 6, 7, 8, dan 9.

Tabel 5. Entalpi dan Entropi Inlet Turbin Superheated Steam

T1 (°C)	P1 (bar)	h1 (kJ/kg)	S1 (kJ/kg.K)
166,581	6,755	2761,210	6,72

Tabel 6. Entalpi dan Entropi outlet turbin Saturated Steam

T (°C)	P (bar)	Hg2 (kJ/kg)	Hf2 (kJ/kg)	Sf2 (kJ/kg.K)	Sg2 (kJ/kg.K)
44,669	0,098	2583,340	190,580	0,650	8,150

Data entalpi dan entropi sesudah overhaul ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 7. Entalpi dan Entropi Inlet Turbin Superheated Steam

T1 (°C)	P1 (bar)	h1 (kJ/kg)	S1 (kJ/kg.K)
166,600	6,300	2758,240	6,740

Tabel 8. Entalpi dan Entropi Inlet Turbin Saturated Steam

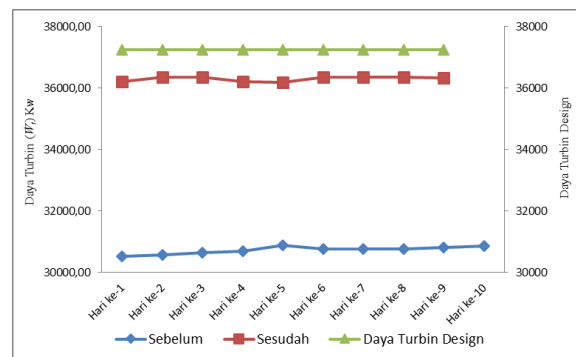
T (°C)	P (bar)	Hg2 (kJ/kg)	Hf2 (kJ/kg)	Sf2 (kJ/kg.K)	Sg2 (kJ/kg.K)
47,50	0,117	2586,86	198,900	0,670	8,120

Tabel 9. Data Hasil Hitung

Keterangan	Sebelum	Sesudah	Satuan
Entalpi isentropis	2127,41	2145,91	kJ/kg
Daya turbin design		37260	kW
Daya turbin actual	30702,880	36304,700	kW
Daya kotor	29812,50	35252	kW
Efisiensi isentropis	79	78	%

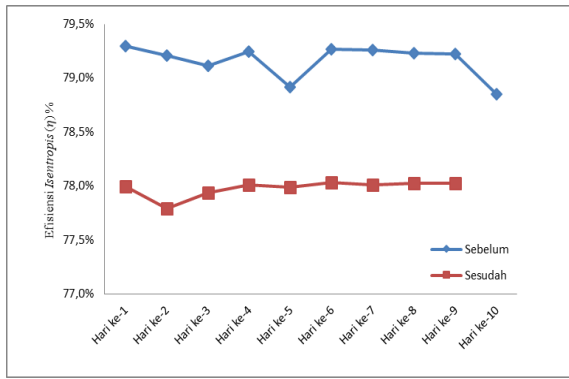
Analisis Hasil

Data hasil perhitungan yang diperoleh kemudian dilakukan perbandingan terhadap masing – masing parameter untuk mengetahui kinerja dari turbin uap berdasarkan efisiensi isentropis dan *power* yang dihasilkan sebelum dan setelah dilakukan proses overhaul. Nilai standar untuk menentukan apakah kinerja turbin dalam kategori baik/tidak berdasarkan data desain/ideal dari turbin. Berikut ditampilkan hubungan antara daya turbin aktual dan desain seperti yang tampak pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Daya turbin Aktual dan Design

Gambar 1 menunjukkan daya turbin sesudah overhaul memiliki nilai lebih tinggi dibanding daya turbin sebelum overhaul dengan hasil mendekati nilai daya turbin desain. Kondisi operasi sebelum overhaul menunjukkan bahwa *flow rate* masuk sebesar 61,17 kg/s dengan *Main Control Valve* (MCV) terbuka 91,40%, sedangkan setelah overhaul nilai *flow rate* masuk meningkat menjadi 76,03 kg/s dengan MCV terbuka 45%. Peningkatan *flow rate* dan nilai MCV yang terbuka berkurang menyebabkan kenaikan tekanan dan temperatur fluida kerja, sehingga menyebabkan nilai entalpi aktual keluar turbin meningkat. Peningkatan nilai entalpi aktual turbin (h2) setelah overhaul menyebabkan nilai daya turbin aktual meningkat. Peningkatan tekanan fluida kerja ini juga dibuktikan dengan peningkatan nilai entalpi isentropis yang dapat dilihat pada Gambar 2.



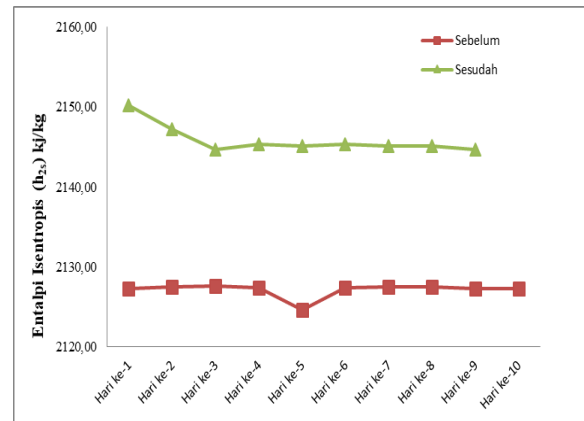
Gambar 2. Nilai Entalpi aktual Sebelum dan Sesudah Overhaul

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai entalpi isentropis sebelum overhaul memiliki nilai lebih rendah jika dibandingkan dengan setelah overhaul. Perbedaan nilai entalpi isentropis sebelum dan sesudah overhaul mengalami kenaikan sebesar 18,8 kJ/kg. Kenaikan nilai entalpi isentropis disebabkan terjadi perbedaan nilai tekanan *inlet* dan *outlet* pada turbin. Nilai tekanan *outlet* setelah overhaul terjadi kenaikan yang mengakibatkan nilai entalpi keluar turbin baik fase gas atau pun *liquid* meningkat. Peningkatan nilai entalpi *output* tersebut berdampak terhadap nilai entalpi aktual (h_2s) sesuai dengan persamaan 2. Tekanan yang semakin tinggi akan berpengaruh terhadap nilai entalpi (Nurfitria, 2018).

Perbedaan nilai entalpi aktual sebelum dan setelah overhaul tersebut berdampak terhadap nilai efisiensi isentropis turbin (Gunawan, 2021). Efisiensi secara umum adalah kemampuan turbin untuk merubah energi kalor yang terdapat di fluida kerja menjadi energi mekanik untuk menggerakkan generator (Halim, 2019). Perbandingan antara kerja aktual dan kondisi ideal yang ditampilkan pada Gambar 1 berkorelasi terhadap nilai efisiensi turbin yang dihasilkan. Nilai efisiensi isentropis turbin ditampilkan pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan nilai efisiensi isentropis sebelum overhaul memiliki nilai lebih tinggi jika dibandingkan setelah overhaul. Nilai efisiensi isentropis setelah

proses overhaul turbin terjadi penurunan efisiensi sebesar $\pm 1,4\%$.



Gambar 3. Nilai efisiensi isentropis turbin

Penurunan tekanan pada inlet turbin dan kenaikan kerja aktual setelah overhaul mengakibatkan penurunan nilai efisiensi isentropis. Temperatur dan tekanan uap masuk turbin yang berupa *superheated vapour* dan keluar berupa *saturated vapour* merupakan beberapa faktor yang mempengaruhi nilai efisiensi turbin. Fluida kerja dengan fase *vapour* tersebut membawa energi kalor yang dapat menghasilkan kerja turbin yang dapat dilihat dari nilai *gross power*.

Kenaikan *gross power* tersebut juga diikuti oleh kenaikan *flow rate* fluida kerja dimana ketika proses pengoperasian setelah overhaul MCV dioperasikan pada nilai terbuka 45%. Peningkatan nilai *gross power* turbin berbanding terbalik dengan efisiensi turbin. *Gross power* menurun sesuai dengan peningkatan beban yang terjadi pada turbin. Hal ini berdampak terhadap kenaikan nilai entalpi ideal maupun aktual fluida kerja.

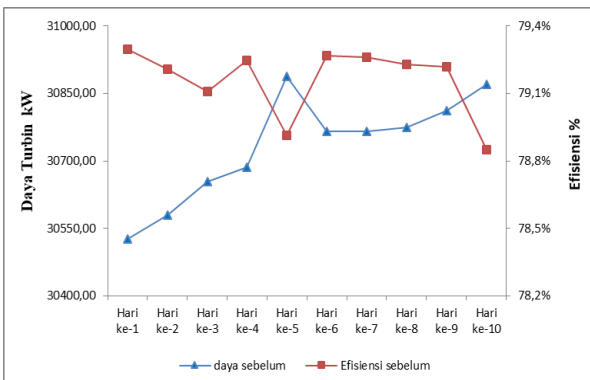
Kenaikan entalpi ideal atau pun aktual tersebut sesuai dengan prinsip termodinamika dimana ketika tekanan suatu fluida kerja meningkat, maka interaksi antar molekul juga meningkat dan berdampak terhadap kenaikan energi dalam karena energi kinetik dan potensial molekul juga meningkat (Cengel, 2015). Kenaikan nilai entalpi dan *flow rate* tersebut berdampak terhadap penurunan nilai efisiensi isentropis. Hal ini sesuai dengan



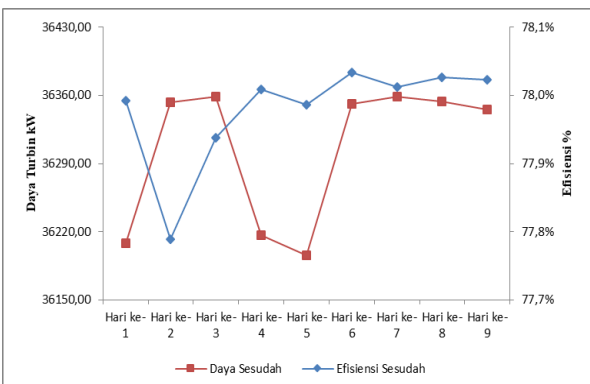
persamaan 7 dan 8 yang digunakan untuk menentukan nilai efisiensi isentropis turbin.

Pada Tabel 1 dan Tabel 3 jika dilihat terdapat kenaikan nilai *gross power* setelah overhaul. Nilai *gross power* mengalami kenaikan karena adanya kenaikan daya aktual yang dihasilkan oleh turbin, hal ini sesuai dengan yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Hubungan antara nilai daya turbin dan efisiensi isentropis sebelum dan setelah overhaul ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan Nilai Efisiensi Isentropis Terhadap Daya Turbin Sebelum Overhaul



Gambar 5. Perbandingan Nilai Efisiensi Isentropis Terhadap Daya Turbin Setelah Overhaul

Gambar 4 dan 5 menunjukkan nilai daya turbin dan efisiensi isentropis sebelum dan sesudah overhaul. Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai efisiensi isentropis terendah 78,4% terjadi ketika turbin menghasilkan daya tertinggi sebesar 30.960 kW, efisiensi tertinggi 79,2% terjadi ketika turbin menghasilkan daya terendah sebesar 30.750 kW.

Secara keseluruhan nilai daya dan efisiensi isentropis turbin berbanding terbalik

baik sebelum atau setelah overhaul. Nilai daya turbin dan efisiensi isentropis yang berbanding terbalik ini sesuai dengan Gambar 3 yang dihubungkan dengan nilai *gross power* yang terdapat pada Tabel 1 dan 3. Dari data di atas dapat dijelaskan bahwa efisiensi isentropis turbin akan turun jika suhu fluida masuk turbin, suhu fluida keluar turbin, dan tekanan masuk turbin lebih kecil dari keadaan sebelumnya.

Penurunan efisiensi setelah overhaul ini dikarenakan kenaikan *flowrate* dan entalpi pada sisi input turbin yang berdampak terhadap penurunan efisiensi isentropis turbin tetapi meningkatkan daya yang dihasilkan turbin. Kenaikan *flowrate* merupakan dampak dari proses overhaul yang mengakibatkan bahan bakar masuk turbin meningkat. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Gusnita, 2017) yang menyatakan bahwa setelah proses overhaul daya yang dihasilkan turbin meningkat karena peningkatan *flowrate* tetapi efisiensi turbin mengalami penurunan akibat peningkatan entalpi pada sisi *inlet*.

KESIMPULAN

Berdasarkan data dan analisis yang telah dipaparkan dapat diambil kesimpulan bahwa tekanan *inlet* dan *outlet* turbin yang semakin tinggi berkorelasi terhadap nilai entalpi isentropis (h_s) yang meningkat dengan nilai sebelum overhaul sebesar 2.127,41 kJ/kg dan sesudah overhaul sebesar 2.145,91 kJ/kg.

Nilai *flowrate inlet* (ms) yang meningkat berkorelasi terhadap kenaikan daya turbin (W_t) dengan nilai rata – rata sebelum overhaul 30.702,880 kW dan setelah overhaul sebesar 36.304,70 kW.

Efisiensi sesudah overhaul mengalami penurunan $\pm 1,4\%$ dari efisiensi sebelum overhaul. Nilai daya yang meningkat setelah overhaul menyebabkan penurunan efisiensi isentropis dimana daya tertinggi setelah overhaul sebesar 36.630 kW dengan efisiensi isentropis 77,75%. Nilai daya sebelum overhaul tertinggi sebesar 30.960 kW dengan efisiensi isentropis 78,4%.



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Pertamina Energy Geothermal Area Kamojang yang memberikan dukungan dan segala fasilitas sehingga dapat terlaksananya pengambilan data dalam penelitian kali ini.

DAFTAR PUSTAKA

Adriwiyono. Bonavisius, P. I. (2018). Analisa kinerja pembangkit turbin gas PT PJB Unit Pembangkitan Muara Tawar menggunakan Generating Availability Data System . *Operation Excellence*, 10(3), 304–320.

Cengel, Y. A. B. M. A. (2015). *Thermodynamics: an Engineering Approach* (8th ed., Vol. 1). McGraw-Hill Education.

Gunawan, Iwan. W. Jaka. H. U. (2021). Overview Potensi Panas Bumi di Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Energi Baru Terbarukan*, 2(2), 60–73.

Gusnita, Novi. S. K. S. (2017). Analisa Efisiensi dan Pemanfaatan Gas Buang Turbin Gas Alsthom pada Pembangkit Listrik Tenaga Gas. *Jurnal Sains Teknologi Dan Industri*, 14(2), 209–2018.

Halim, D. A. , N. A. dkk. (2019). Perancangan Steam Turbine Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi di Kamojang Unit VI. *Jurnal Teknika*, 15(1), 1–12.

Kementerian ESDM. (2020). *Ringkasan Renstra 2020 - 2024* (1st ed., Vol. 1). Kemeterian Energi dan Sumber Daya Mineral.

Musa, L. dkk. (2019). Analisis Performansi Turbin dan Generator di PLTP Lahendong Unit 1 Tomohon. *Jurnal Sinergi*, 17(1), 25–36.

Nurfitria, Syifa. D. Maria. S. Paulus. F. R. (2018). Analisis Dampak Overhaul Terhadap Kinerja Turbin Uap di PLTP Derajat. *Seminar Nasional Teknik Mesin*, 408–415.

Samosir, Rolando. Danial. K. E. (2019). Analisis Efisiensi Isentropik Turbin Uap Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa . *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 1(1), 1–7.

Sitepu, Tekad. S. S. H. P. (2014). Perancangan Heat Recovery Steam Generator (HRSG) yang Memanfaatkan Gas Buang Turbin Gas di PLTG PT. PLN (PERSERO) Pembangkitan dan Penyaluran Sumatera Bagian Utara Sektor Belawan. *Jurnal Dinamis*, 8(4), 231–239.

Tanuma, T. (2017). Introduction to steam turbines for power plants. In *Advances in Steam Turbines for Modern Power Plants* (pp. 3–9). Elsevier.