

Analisis Kinerja Turbin Uap Sebelum Dan Sesudah Overhaul PLTU X

Anis Fadila¹, Dadang Suhendra Permana¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: anisfadila27@gmail.com

Abstrak--Ketersediaan energi listrik dituntut untuk selalu ada dan kontinyu, sehingga diperlukan pembangkit listrik yang handal dan efisien. Turbin uap bekerja dalam temperatur yang tinggi dan jangka waktu yang lama, sehingga turbin uap dituntut harus mampu beroperasi dengan tingkat stabilitas yang tinggi dari keadaan tanpa beban hingga ke beban penuh. Seiring berjalannya waktu, dengan kondisi tersebut diperkirakan turbin uap mengalami penurunan kinerja. Untuk mengatasinya, maka turbin uap perlu dioverhaul. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak overhaul terhadap kinerja turbin uap PLTU X. Pengambilan data dilakukan dengan metode analisis kuantitatif data sekunder. Untuk menganalisisnya digunakan metode perhitungan berdasarkan kesetimbangan masa uap dan energi dalam entalpi yang masuk dan keluar turbin dengan daya keluaran generator (output generator). Dari hasil analisis termodinamika didapatkan adanya peningkatan kinerja turbin uap setelah dilakukan overhaul yaitu daya turbin mengalami peningkatan sebesar 29,413 MW, efisiensi isentropik turbin uap meningkat sebesar 0,234%, THR mengalami penurunan sebesar 278,08 kcal/kWh dan efisiensi turbin uap mengalami peningkatan sebesar 2,78%.

Kata kunci: PLTU, turbin uap, kinerja, efisiensi

Abstract--The availability of electrical energy is demanded to always be there and continuous, so that a reliable and efficient power plant is needed. Steam turbines work at high temperatures and for long periods of time, so that steam turbines are required to be able to operate with a high level of stability from no-load to full load. Over time, with these conditions it is estimated that the steam turbine performance will decrease. To overcome this, the steam turbine needs to be overhauled. This study aims to determine the impact of overhaul on the performance of the PLTU X steam turbine. Data collection was carried out using secondary quantitative data analysis methods. To analyze it, a calculation method is used based on the mass balance of steam and energy in the enthalpies entering and leaving the turbine with generator output power. From the results of the thermodynamic analysis, it was found that there was an increase in the performance of the steam turbine after the overhaul was carried out, namely the turbine power increased by 29.413 MW, the isentropic efficiency of the steam turbine increased by 0.234%, THR decreased by 278.08 kcal/kWh and the efficiency of the steam turbine increased by 2,78%.

Keywords: PLTU, steam turbin, performance steam turbin, efficiency

1. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi energi yang paling dibutuhkan diberbagai sektor kehidupan manusia. Kebutuhan tersebut terus mengalami peningkatan dengan adanya penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi, dan pola konsumsi energi listrik itu sendiri yang senantiasa meningkat [1]. Akibatnya energi listrik dituntut untuk selalu ada dan kontinyu, sehingga dibutuhkan pembangkit listrik yang handal, stabil dan efisien. Tiga faktor yang menjadi tuntutan kerja pembangkit listrik adalah keamanan, kehandalan dan efisiensi [2].

Salah satu jenis pembangkit yang ada di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU X yang menjadi penyuplai utama pasokan listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat di daerahnya. PLTU ini memiliki dua unit pembangkit yang mana hasil commissioning testnya menunjukkan bahwa PLTU X mampu menghasilkan gross power 70 MW. Saat ini PLTU X hanya mampu menghasilkan gross power sebesar 35-45 MW. Jika dibandingkan dengan data hasil commissioning artinya telah terjadi penurunan kinerja pada PLTU X yang berdampak pada penurunan kinerja setiap peralatan dan mesin di PLTU.

Salah satu komponen pada PLTU adalah turbin uap yang berfungsi untuk mengubah

energi potensial uap menjadi energi mekanis dalam bentuk putaran poros turbin [3]. Sebagai komponen utama PLTU, kinerja turbin uap akan sangat mempengaruhi hasil produksi energi listrik. Turbin uap bekerja dengan temperatur yang cukup tinggi dan dalam kurun waktu yang cukup lama, sehingga harus memiliki kestabilan beroperasi dalam jangka waktu yang lama dari keadaan tanpa beban hingga ke beban penuh. Dengan kondisi tersebut, diperkirakan kinerja turbin uap akan terus mengalami penurunan. Energi uap yang dihasilkan tidak sepenuhnya dapat diubah menjadi 100% output energi mekanis pada turbin. Akan ada sebagian kehilangan energi yang disebabkan oleh beberapa factor, diantaranya adalah supply uap yang tidak maksimal hingga kebocoran.

Untuk menjaga keamanan, keandalan dan umur pakai peralatan agar tetap pada performa yang maksimal maka perlu dilakukan perawatan seperti preventive maintenance, predictive maintenance dan overhaul. Perawatan overhaul ruang lingkungannya lebih besar dan akan mengganggu kegiatan produksi serta membutuhkan biaya yang besar. Proses overhaul dilakukan untuk menjaga performa kinerja turbin agar tetap stabil dan optimal.

Penelitian kinerja turbin uap berdasarkan performance test di PLTU PT. Indocement P-12 Tarjun yang dilakukan oleh Apriandi dan Mursadin [4] menyimpulkan bahwa sejak awal beroperasi hingga dilakukannya performance test pada tahun 2018 kinerja turbin uap mengalami penurunan dari 39,3% menjadi 37,46%, terjadinya penurunan kinerja diikuti dengan naiknya heat rate dari turbin uap.

Penelitian yang dilakukan Nurfitri dkk [5] terkait Analisis Dampak Overhaul Terhadap Kinerja Turbin Uap di PLTP Darajat didapatkan kesimpulan bahwa terjadi peningkatan kinerja turbin setelah dilakukan proses overhaul. Kinerja aktual turbin di PLTP Darajat sebelum overhaul 506,598 [kJ/kg], dan setelah overhaul turbin kinerja turbin 513,837 [kJ/kg]. Dampak dari overaul, turbin mengalami kenaikan kinerja sebesar 1,43%.

Silalahi [6] melakukan penelitian terkait efisiensi turbin uap sebelum dan sesudah overhaul. Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa efisiensi turbin uap mengalami peningkatan setelah dilakukannya overhaul. Efisiensi turbin uap pada beban 85%

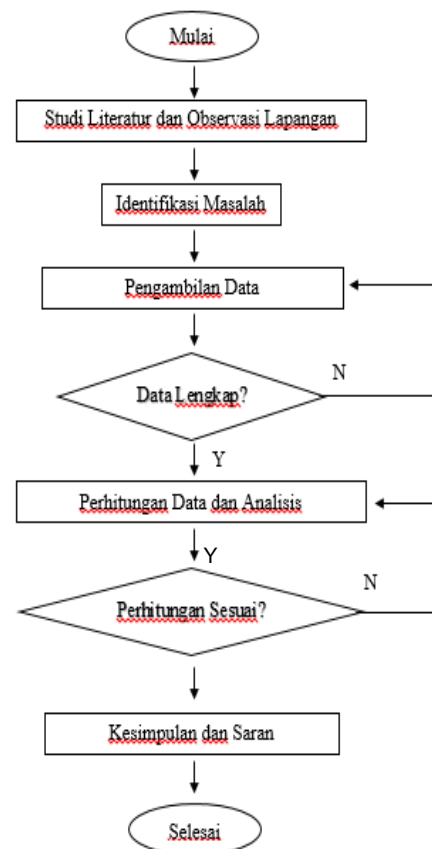
(513 MW) meningkat dari 74,81% saat sebelum overhaul menjadi 76,79% saat sesudah overhaul. Begitu juga efisiensi turbin uap pada beban 100% (600 MW) meningkat dari 74,27% saat sebelum overhaul menjadi 75,2% saat sesudah overhaul dilakukan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian ini difokuskan pada perbandingan kinerja turbin uap sebelum dan setelah overhaul pada PLTU X. Persamaan penelitian sebelumnya dengan penelitian ini adalah pada objek yang diteliti yaitu turbin uap. Selain itu, data yang diambil adalah data operasi turbin sebelum dan sesudah overhaul dari Central Control Room (CCR). Analisis data untuk mengetahui kinerja turbin uap digunakan metode perhitungan berdasarkan kesetimbangan masa uap dan energi dalam enthalpy yang masuk dan keluar turbin dengan daya keluaran generator (output generator).

2. METODOLOGI

2.1 Diagram Alir

Gambar 1 menunjukkan diagram alir pada penelitian ini.

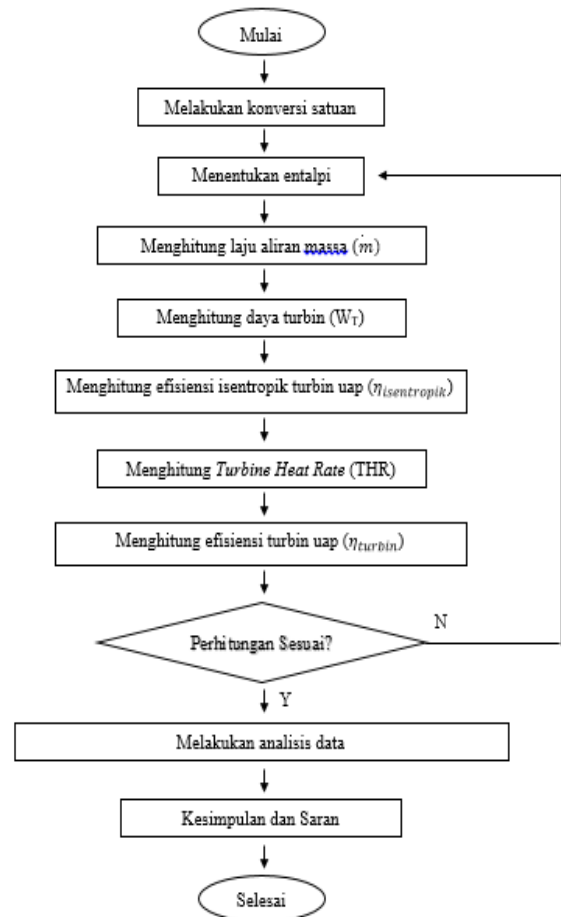


Gambar 1. Diagram alir penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a) **Studi Literatur dan Observasi Lapangan**
Langkah pertama yang dilakukan dalam penelitian adalah melakukan studi literature dan observasi lapangan. Studi literatur dilakukan untuk mencari teori dan materi yang berhubungan dengan topik penelitian. Langkah ini dilakukan berdasarkan objek penelitian meliputi jurnal-jurnal, buku pelajaran, internet, artikel dan penelitian lain yang sesuai dengan judul yang disetujui oleh pembimbing sebagai tinjauan pustaka. Observasi lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi real terkait objek penelitian.
- b) **Identifikasi Masalah**
Langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi masalah mengenai topik penelitian. Identifikasi masalah ditemukan melalui studi literatur observasi lapangan. Identifikasi masalah disusun berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang muncul.
- c) **Pengambilan Data**
Pada tahap ini dilakukan pengambilan data dan informasi untuk mendukung penelitian yang dilakukan. Data yang diambil berupa data sekunder yang terkait dengan topik penelitian.
- d) **Perhitungan Data dan Analisis**
Setelah diperoleh data sekunder yang terkait dengan topik penelitian, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis dan perhitungan data sesuai dengan rumus yang diberikan.
- e) **Kesimpulan dan Saran**
Setelah dilakukan analisis dan perhitungan data, maka langkah selanjutnya adalah menarik kesimpulan dan saran. Kesimpulan dibuat untuk menjawab tujuan penelitian. Sedangkan, saran penelitian digunakan sebagai usulan kepada instansi atau perusahaan yang terkait.

Penelitian ini difokuskan pada perbandingan kinerja turbin uap sebelum dan setelah overhaul pada PLTU X. Gambar 2 merupakan diagram alir perhitungan data dan analisis yang menjelaskan garis besar pelaksanaan perhitungan data dan analisis kinerja turbin uap sebelum dan setelah overhaul.



Gambar 2. Diagram Alir Perhitungan Data dan Analisis

Urutan perhitungan data dan analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Melakukan konversi satuan**
Teknik perhitungan data diawali dengan melakukan konversi satuan menjadi satuan internasional (SI). Satuan yang dikonversikan yaitu satuan tekanan, temperatur dan laju aliran massa dari setiap komponen yang digunakan sebagai bahan analisa.
2. **Menentukan entalpi**
Langkah ini adalah menghitung nilai entalpi dengan menggunakan tekanan dan temperatur dari setiap komponen yang digunakan sebagai bahan analisa. Dalam menghitung nilai entalpi penulis menggunakan steam table online dan buku Thermodynamic And Transport Properties karangan Borgnakke & Sontag [6].
3. **Menghitung laju aliran massa (m)**
Menurut buku *Power Plant Engineering* [7], persamaan untuk menghitung laju

aliran massa pada heater dengan siklus rankine adalah sebagai berikut:

- Heater 1

$$\dot{m}_1 (h_2 - h_{22}) = 1 (h_{23} - h_{21}) \quad (1)$$

- Heater 2

$$\dot{m}_2 (h_5 - h_{20}) + \dot{m}_1 (h_{22} - h_{20}) = 1 (h_{21} - h_{19}) \quad (2)$$

- Heater 3

$$\begin{aligned} \dot{m}_3 (h_6 - h_{18}) + (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) (h_{20} - h_{18}) \\ = (1 - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3) (h_{18} - h_{17}) \end{aligned} \quad (3)$$

- Heater 4

$$\begin{aligned} \dot{m}_4 (h_7 - h_{16}) \\ = (1 - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) (h_{17} - h_{15}) \end{aligned} \quad (4)$$

- Heater 5

$$\begin{aligned} \dot{m}_5 (h_8 - h_{12}) + \dot{m}_4 (h_{16} - h_{12}) \\ = (1 - \dot{m}_1 - \dot{m}_2 - \dot{m}_3 - \dot{m}_4) (h_{14} - h_{11}) \end{aligned} \quad (5)$$

Keterangan:

\dot{m} = Laju aliran massa ($\frac{kg}{s}$)

h = Entalpi ($\frac{kJ}{kg}$)

4. Menghitung daya turbin (W_T)

Persamaan energi untuk menghitung daya turbin dikemukakan oleh Cengel et al [8] yaitu sebagai berikut:

$$W_T = \dot{m}_1 \cdot (h_1 - h_2) \quad (6)$$

Keterangan:

W_T = daya turbin (kW)

\dot{m} = Laju aliran massa ($\frac{kg}{s}$)

h = Entalpi ($\frac{kJ}{kg}$)

5. Menghitung efisiensi isentropik turbin ($\eta_{isentropik}$)

Menurut Yohana dkk [9] efisiensi isentropik dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_{isentropik} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan

η_{turbin} : Efisiensi isentropik turbin (%)

h_1 : Entalpi uap masuk (kJ/Kg)

h_2 : Entalpi uap keluar saat kondisi aktual (kJ/Kg)

h_{2s} : Entalpi uap keluar ideal (kJ/Kg)

6. Menghitung Turbine Heat Rate (THR)

Menurut Dadang Suhendra Permana dkk [10] nilai Turbine Heat Rate (THR) dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$THR = \frac{\dot{Q}_s \times 3600}{P_g} \quad (7)$$

7. Menghitung efisiensi turbin uap (η_{turbin})

Persamaan energi untuk menghitung efisiensi turbin uap (η_{turbin}) dikemukakan oleh Cengel et al [8] yaitu sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{turbin} \\ = \frac{\text{Energi kalor dalam 1 kWh}}{\text{Heat Rate Turbin}} \times 100\% \end{aligned} \quad (8)$$

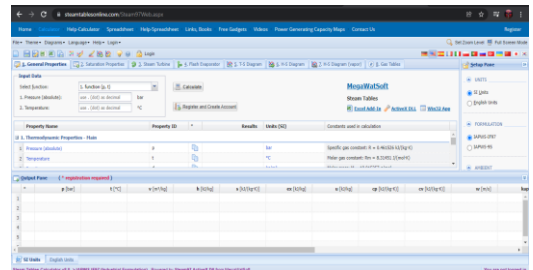
Keterangan:

η_{turbin} = Efisiensi turbin (%)

2.2 Alat dan Bahan

- a) Alat Penelitian

Sebagai penunjang penelitian, terutama dalam pengambilan data digunakan alat berupa steam table online. Steam Table Online dapat diakses penulis pada tanggal 11 Mei 2022 di website <https://www.steamtablesonline.com/Steam97Web.aspx> yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Steam Table Online

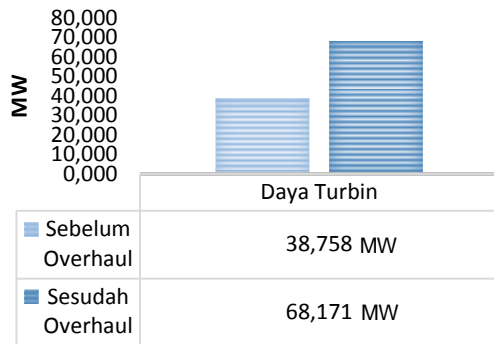
- b) Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan sebagai objek penelitian pada tugas akhir ini adalah data sekunder yang berupa data-data operasi turbin uap yang berhasil dikumpulkan dari engineer (teknisi) di HMI (Human Machine Interface) ruang kontrol PLTU X. HMI (Human Machine Interface) merupakan monitor operasi yang berada pada ruang kontrol. Dengan HMI diperoleh data berupa tekanan, temperatur dan laju aliran massa dari setiap komponen yang digunakan baik sebelum dilakukan overhaul maupun sesudah dilakukan overhaul.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan maka diperoleh data perhitungan kinerja turbin uap meliputi daya turbin, efisiensi isentropik turbin, *Turbine Heat Rate (THR)* dan efisiensi turbin.

Gambar 4. menunjukkan grafik perbandingan daya turbin sebelum dan sesudah *overhaul*. Setelah dilakukan *overhaul*, daya turbin mengalami peningkatan sebesar 29,413 MW.



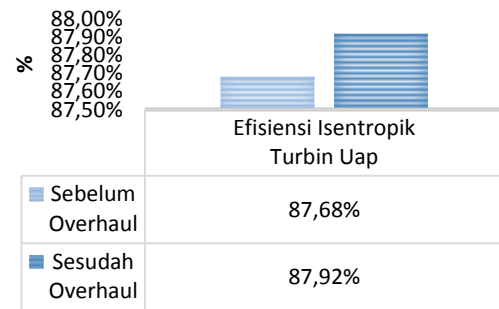
Gambar 4. Perbandingan Daya Turbin Uap

Daya turbin (W_T) dipengaruhi oleh massa dan entalpi dari uap yang digunakan untuk memutar turbin. Energi yang masuk ke turbin berbanding lurus dengan daya turbin. Semakin besar energi yang masuk ke turbin maka daya turbin akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil energi yang masuk ke turbin maka daya turbin juga akan semakin kecil. Selain itu, daya turbin uap juga dipengaruhi oleh kevakuman kondensor. Semakin besar kevakuman kondensor maka daya turbin juga akan meningkat, namun juga dilihat dari sisi titik embun steam karena jika kevakuman kondensor semakin tinggi maka steam akan berubah menjadi titik-titik embun dan hal ini sangat berbahaya bagi turbin. Penggunaan LPH dan HPH juga dapat meningkatkan daya turbin uap. LPH dan HPH berfungsi untuk proses pemanasan awal air umpan dengan menggunakan uap ekstrasi dari turbin.

Gambar 5. merupakan grafik perbandingan efisiensi isentropik turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul*. Efisiensi isentropik turbin uap sebelum dilakukan *overhaul* adalah sebesar 87,68%. Sedangkan efisiensi isentropik turbin uap setelah dilakukan *overhaul* adalah sebesar 87,92% MW. Setelah dilakukan *overhaul*, efisiensi isentropik mengalami peningkatan sebesar 0,234%. Dengan hasil tersebut, baik sebelum

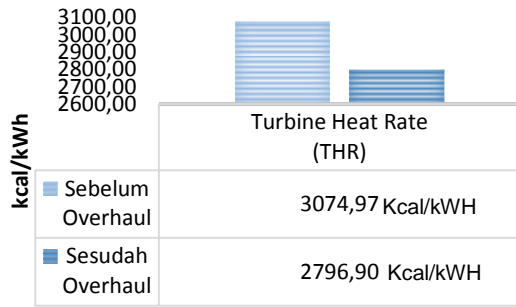
dan sesudah *overhaul*, nilai efisiensi isentropik turbin masih tergolong baik masih berada dikisaran 70 s/d 100%.

Perhitungan efisiensi isentropik turbin uap dihitung dari perbandingan total kerja aktual dengan total kerja ideal turbin uap. Perbandingan tersebut menyatakan bahwa besar kecilnya efisiensi isentropik turbin dipengaruhi oleh selisih dari kerja aktual dan ideal. Artinya semakin kecil selisihnya maka efisiensi akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, semakin besar selisihnya maka efisiensi akan semakin kecil.



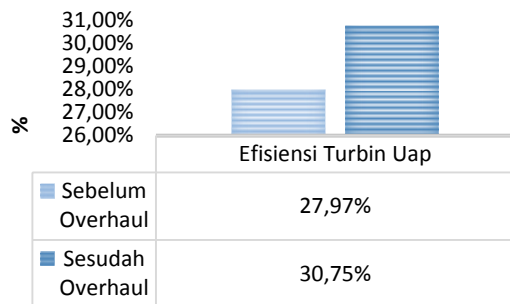
Gambar 5. Perbandingan Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Gambar 6. merupakan grafik perbandingan *Turbine Heat Rate (THR)* sebelum dan sesudah dilaksanakan *overhaul*. *Turbine heat rate (THR)* menunjukkan perbandingan dari energi total yang digunakan untuk memutar turbin, dengan energi listrik nett yang dihasilkan oleh generator. Besarnya *Turbine Heat Rate (THR)* sebelum dilakukan *overhaul* adalah 3.074,97 kcal/kWh. Sedangkan *Turbine Heat Rate (THR)* setelah dilakukan *overhaul* adalah sebesar 2.796,90 kcal/kWh. Setelah dilakukan *overhaul*, *Turbine Heat Rate (THR)* mengalami penurunan sebesar 278,08 kcal/kWh. Penurunan nilai *Turbine Heat Rate (THR)* menunjukkan kinerja dari turbin uap mengalami peningkatan setelah dilakukannya proses *overhaul*. Kinerja dari turbin uap dapat dilihat dari nilai THR. Semakin kecil nilai THR maka semakin baik kinerja dari turbin uap tersebut.



Gambar 6. Perbandingan Turbine Heat Rate (THR)

Gambar 7. merupakan grafik perbandingan efisiensi turbin uap sebelum dan sesudah *overhaul*. Efisiensi turbin uap sebelum dilakukan *overhaul* adalah sebesar 27,97%. Sedangkan efisiensi turbin uap setelah dilakukan *overhaul* adalah sebesar 30,75% MW. Setelah dilakukan *overhaul*, efisiensi turbin uap mengalami peningkatan sebesar 2,78%. Peningkatan efisiensi diikuti dengan menurunnya nilai THR. Efisiensi turbin uap berbanding terbalik dengan nilai THRnya. Semakin kecil nilai THR maka efisiensi turbin akan semakin baik, begitu juga sebaliknya semakin besar nilai THR maka efisiensi turbin akan semakin kecil.



Gambar 7. Perbandingan Efisiensi Turbin Uap

Berdasarkan hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa kinerja turbin mengalami peningkatan setelah dilakukannya *overhaul*. Hasil perhitungan ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu yang juga menunjukkan adanya peningkatan kinerja turbin uap setelah dilakukan proses *overhaul*. Salah satunya yakni penelitian yang dilakukan oleh Nurfitri dkk tentang Analisis Dampak *Overhaul* Terhadap Kinerja Turbin Uap Di PLTP Darajat [5] memberikan hasil bahwa dengan adanya *overhaul* kinerja pada turbin uap PLTP Darajat mengalami peningkatan sebesar 1,43%. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Tegar Avian [11] tentang Analisis Performa Turbin

Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul Di PLTU Banten 1 X 660 MW PT. Lestari Banten Energi didapatkan hasil bahwa setelah dilakukan *overhaul* pada turbin efisiensi *high pressure turbine* mengalami peningkatan dari 77,88% menjadi 83,02%.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan untuk penelitian ini adalah:

- Hasil perhitungan dan analisis kinerja turbin uap setelah dilakukan *overhaul* adalah sebagai berikut:
 - Daya turbin mengalami peningkatan sebesar 29,413 MW
 - Efisiensi isentropik turbin uap mengalami peningkatan sebesar 0,234%.
 - Turbine Heat Rate (THR) mengalami penurunan sebesar 278,08 kcal/kWh.
 - Efisiensi turbin uap mengalami peningkatan sebesar 2,78%.
- Overhaul* mempunyai pengaruh yang besar terhadap kinerja turbin uap. Salah satunya ditandai dengan meningkatnya daya turbin, efisiensi isentropik turbin, Turbine Heat Rate (THR) dan efisiensi turbin. Hal ini akan menunjang produktifitas pada PLTU yang tentunya sangat berdampak terhadap biaya produksi.

4.2 Saran

Pengerjaan penelitian ini tentu tidak lepas dari berbagai macam kekurangan. Untuk memperbaiki kekurangan tersebut maka saran yang diberikan sebagai berikut:

- Perlu dilakukan kalibrasi terhadap alat ukur yang digunakan. Sebaiknya kalibrasi alat ukur dilakukan setiap setahun sekali. Kegiatan kalibrasi alat ukur sangat penting untuk menentukan akurasi dan presisi alat ukur.
- Setiap perawatan dan perbaikan perlu dilakukan uji kinerja pada setiap mesin dan perangkat PLTU. Dengan langkah ini maka dapat diketahui hasil dari perawatan dan perbaikan yang telah dilakukan.
- Jika dikehendaki untuk lebih dilengkapi detail properties kondisi uap pada setiap titiknya. Dengan adanya kelengkapan tersebut, diharapkan hasil perhitungan akan lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Muhamad Fitri, Ph.D selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana, Ir. Dadang Suhendra Permana M.Si, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Orangtua dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan, serta teman-teman yang memberikan masukan dan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Wahyudi Biantoro, "Analisis Perbandingan Efisiensi Energi Pada Gedung P Kabupaten Tangerang dan Gedung Tower UMB," *J. Tek. Mesin*, vol. 06, pp. 164–173, 2017, doi: 10.22441/jtm.v6i3.1966.
- [2] Sunarwo and T. H. M, "Analisa Efisiensi Turbin Gas Unit 1 Sebelum dan Setelah Overhaul Combustor Inspection di PT PLN (Persero) Sektor Pembangkitan PLTGU Cilegon," *J. Tek. Energi*, vol. 12, no. 2, pp. 50–57, 2016, doi: <http://dx.doi.org/10.32497/eksergi.v12i2.288>.
- [3] K. R. Mahaputra, "Analisis Kinerja Turbin Uap Unit 3 Berdasarkan Performance Test Di Unit Pelaksana PT. PLN (Persero) Pembangkitan Asam-Asam," *Jtam Rotary*, vol. 3, no. 1, p. 95, 2021, doi: 10.20527/jtam_rotary.v3i1.3460.
- [4] E. Saputro and A. Mursadin, "Analisis Efisiensi Turbin Uap Unit Di PT. PJB UBJOM PLTU Pulang Pisau Kalimantan Tengah," *Rotary*, vol. 3, no. 1, pp. 57–67, 2021.
- [5] S. Nurfitri, M. Delavega, P. Sukusno, and R. Filzi, "Analisis Dampak Overhaul Terhadap Kinerja Turbin Uap Di PLTP Darajat," *Semin. Nas. Tek. Mesin*, pp. 408–415, 2019, doi: <https://doi.org/10.14710/rotasi.19.3.134-138>.
- [6] F. O. P. Silalahi, "Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Suralaya Unit 7," 2020.
- [7] L. F. Drbal, P. G. Boston, K. L. Westra, and R. B. Erickson, *Power Plant Engineering*. 1996. doi: 10.1007/978-1-4613-0427-2.
- [8] Y. A. Cengel, M. A. Boles, and M. Kanoglu, *Thermodynamics: An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Education, 2019.
- [9] E. Yohana and R. Romadhon, "Analisa Efisiensi Isentropik dan Exergy Destruction Pada Turbin Uap Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap," *Rotasi J. Tek. Mesin*, vol. 19, pp. 134–138, 2017.
- [10] D. Suhendra Permana and A. Wahyudi Biantoro, "Analisis Pengaruh Perubahan Beban Boiler Terhadap Konservasi," *J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 3, pp. 135–144, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.22441/jtm.v10i3.11892>.
- [11] T. Avian, "Analisis Performa Turbin Uap Sebelum dan Sesudah Overhaul Di PLTU Banten 1 X 660 MW PT. Lestari Banten Energi," 2020.