

Audit Energi Termal Mekanikal Unit Turbin Uap Pada PLTU 100 MW

Fandi Dwi Hidayat¹, Arrad Ghani Safitra^{2*}, Hariyandi³, dan Joke Pratilastiarso⁴

^{1,2,4} Sarjana Terapan Sistem Pembangkit Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jalan Raya ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

³ Divisi Pemeliharaan, PT PLN Nusantara Power, Jalan Lintas Timur Sumatera Km.15, Rangai Tri Tunggal, Katibung, Lampung Selatan, 35452, Indonesia

Email: fandidh24@gmail.com¹, arradgs@pens.ac.id², hariyandinasution.pln@gmail.com³

Abstrak

Saat ini di Indonesia memiliki berbagai jenis sumber daya energi, namun Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) masih menjadi tumpuan penghasil energi listrik terbesar untuk mencukupi kebutuhan energi listrik masyarakat Indonesia. Oleh karena itu performa sebuah PLTU harus dijaga agar tetap optimal. Dengan cara audit energi diharapkan dapat menjaga performa PLTU tetap optimal dan juga dapat menekan biaya produksi. Audit Energi dapat dilaksanakan secara merinci tertuju pada salah satu komponen yang ada. Salah satu komponen utama yang ada pada PLTU yaitu turbin uap. Turbin uap merupakan sebuah komponen yang dapat mengubah energi panas dari uap menjadi energi kinetik yang kemudian dapat memutar poros generator yang telah dikopel dengan poros turbin uap. Audit energi turbin uap dilaksanakan berdasarkan standar prosedur ASME PTC 6 *Performance Test for Steam Turbine*. Setelah dilaksanakan audit energi ini didapatkan bahwa efisiensi turbin uap menurun dari awal operasi hingga saat ini menjadi 84,91% dan nilai NPHR meningkat menjadi 2985,09 kCal/kWh artinya terjadi penurunan performa pada turbin uap. Setelah dianalisis didapatkan bahwa terdapat indikasi kerusakan pada *thrust bearing* dan *flow uap* yang berlebihan. Oleh karena itu diberikan beberapa rekomendasi yang bertingkat sesuai biaya investasi yang dikeluarkan untuk mengembalikan performa turbin uap seperti awal operasi atau setidaknya menjaga performa turbin uap tidak semakin menurun.

Kata kunci: Audit Energi, PLTU, Turbin Uap, Performa, Rekomendasi.

Abstract (9 pt, italic)

Currently, Indonesia has various types of energy resources, but the Steam Power Plant (PLTU) is still the largest producer of electrical energy to meet the electrical energy needs of the Indonesian community. Therefore, the performance of a PLTU must be maintained to remain optimal. By means of an energy audit, it is hoped that it can maintain optimal PLTU performance and also reduce production costs. Energy Audits can be carried out in detail focused on one of the existing components. One of the main components in the PLTU is the steam turbine. Steam turbine is a component that can convert heat energy from steam into kinetic energy which can then rotate the generator shaft which has been coupled with the steam turbine shaft. The steam turbine energy audit was carried out based on the ASME PTC 6 Performance Test for Steam Turbine standard procedure. After carrying out this energy audit, it was found that the efficiency of the steam turbine decreased from the beginning of operation to the present to 84.91% and the NPHR value increased to 2985.09 kCal/kWh, meaning that there was a decrease in performance in the steam turbine. After analysis, it was found that there were indications of damage to the thrust bearing and excessive steam flow. Therefore, several recommendations are given that are graded according to the investment costs incurred to restore the performance of the steam turbine to the initial operation or at least keep the performance of the steam turbine from decreasing further.

Keywords: Energy Auditing, Steam Power Plant, Steam Turbine, Performance, Recommendation

^{1*} Penulis korespondensi

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan kekayaan sumber daya energi yang melimpah, mulai dari batu bara, gas, panas bumi, hingga energi terbarukan seperti surya dan bayu. Namun, pemanfaatannya belum sepenuhnya optimal, terutama dalam penyediaan energi listrik yang menjadi kebutuhan vital bagi seluruh sektor kehidupan. Hingga tahun 2022, bauran energi nasional masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar fosil. Data menunjukkan kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) mencapai 20.418,50 MW atau 29,57% dari total kapasitas nasional, menjadikannya sumber utama pasokan listrik di Indonesia (PT PLN, 2023). Dominasi ini menegaskan peran strategis PLTU dalam ketahanan energi, sekaligus menuntut peningkatan efisiensi operasional agar dapat menekan biaya dan emisi.

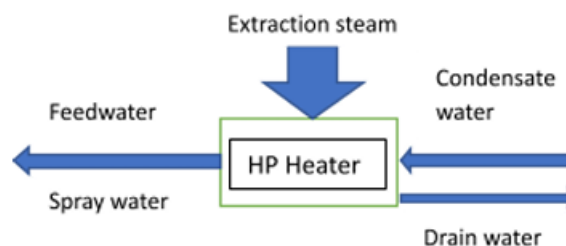
Efisiensi energi pada PLTU tidak hanya dipengaruhi oleh pola konsumsi pengguna, tetapi terutama ditentukan oleh proses produksi listrik itu sendiri. PLTU bekerja berdasarkan siklus termodinamika yang melibatkan empat komponen utama: boiler, turbin uap, generator, dan kondensor. Dari keempat komponen tersebut, turbin uap merupakan titik krusial karena berfungsi mengonversi energi panas dari uap bertekanan tinggi menjadi energi mekanik yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik. Mengingat perannya yang vital, turbin uap juga menjadi komponen dengan potensi kehilangan energi paling besar akibat faktor teknis seperti erosi bilah, kebocoran uap, maupun penurunan performa akibat degradasi operasi jangka panjang.

Untuk memastikan turbin bekerja secara optimal, diperlukan audit energi yang sistematis. Audit energi merupakan proses evaluasi pemanfaatan energi untuk mengidentifikasi pemborosan serta menemukan peluang penghematan. Pada PLTU, audit energi biasanya mengacu pada standar **ASME PTC 6 (Performance Test for Steam Turbines)** yang menyediakan metodologi terukur dalam menilai kinerja turbin. Pendekatan ini berfokus pada perhitungan parameter operasional, **Net Plant Heat Rate (NPHR)**, dan efisiensi termal turbin, sehingga dapat memberikan gambaran detail mengenai sejauh mana energi dari bahan bakar diubah menjadi listrik bersih. Dengan demikian, audit tidak hanya menilai performa turbin, tetapi juga menjadi dasar untuk merumuskan strategi peningkatan efisiensi.

Urgensi penelitian ini semakin tinggi jika dikaitkan dengan target efisiensi energi nasional dan komitmen pengurangan emisi karbon. Identifikasi potensi kehilangan energi pada turbin uap melalui audit energi dapat membuka peluang penghematan signifikan, baik dari sisi teknis, ekonomi, maupun lingkungan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis efisiensi turbin uap di PLTU dengan acuan ASME PTC 6. Tujuannya adalah menilai efisiensi aktual turbin, mengidentifikasi penyebab potensi kehilangan energi, serta menyusun rekomendasi perbaikan yang mampu meningkatkan kinerja pembangkit secara berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja turbin uap pada PLTU dengan mengacu pada standar **ASME PTC 6 (Performance Test Code for Steam Turbines)**. Standar ini dipilih karena menyediakan prosedur terukur untuk menilai performa turbin uap dari aspek termal maupun mekanis. Fokus utama pengujian adalah perhitungan **Net Plant Heat Rate (NPHR)** dan **efisiensi isentropik**, yang menjadi indikator efisiensi keseluruhan pembangkit. Parameter pendukung yang juga dihitung meliputi **final feedwater flow**, **main steam flow**, dan **turbine heat rate**. Final feedwater flow ditentukan dari keseimbangan massa pada feedwater heater dan deaerator, sementara main steam flow dihitung dengan memperhitungkan make-up water serta perubahan volume fluida pada condenser hotwell, deaerator, dan steam drum. Turbine heat rate dihitung berdasarkan selisih entalpi uap masuk dan keluar turbin dibandingkan dengan daya keluaran generator. NPHR diperoleh dari rasio energi panas total yang masuk ke boiler dengan listrik bersih yang dihasilkan pembangkit, sedangkan efisiensi isentropik turbin diperoleh dari perbandingan antara kerja aktual dengan kerja ideal (isentropik) pada tiap tahap ekspansi uap. Dengan menggunakan data yang diperoleh dari DCS.



Gambar 1. Heat Balance area heater

Final feedwater flow merupakan laju aliran fluida yang akan keluar dari feedwater heater dan akan masuk ke boiler. *Feedwater heater* bertugas sebagai heat exchanger memanaskan *condensate water* hingga suhu tertentu dengan memanfaatkan panas dari extraction steam dari turbin uap. *Feedwater heater* terdapat dua tingkatan yaitu *Low pressure heater* dan *High Pressure heater* sesuai dengan jenis uap ekstraksi yang keluar dari turbin uap. Untuk menghitung final feedwater flow, dapat lebih mudah memahami dengan melihat heat balance di sisi HP heater seperti pada Gambar 3.2 dan didalamnya termasuk deaerator.

$$M_f = M_{cw} + M_{ext1} + M_{ext2} + M_{ext3} - M_{ds} - M_{is} - M_{dv}, \text{ (kg/jam)} \quad (1)$$

Untuk menghitung aliran uap ekstraksi, dapat menggunakan heat balance pada masing-masing HP heater dan deaerator. Perhitungan deaerator tank storage dilakukan dengan menghitung perubahan volume fluida pada deaerator tank saat pengujian berlangsung. Rumusan perhitungan volume tergantung dari dimensi tanki dan level fluida. Selanjutnya adalah menghitung main steam flow :

$$M_s = M_f + M_{is} - M_{mu} \text{ (kg/jam)} \quad (2)$$

Total make up water merupakan gabungan aliran fluida tambahan yang masuk ke siklus dan selisih volume selama pengujian yang terdapat pada condenser hotwell, deaerator dan steam drum. Perhitungan condenser hotwell, deaerator tank dan steam drum storage dilakukan dengan menghitung perubahan volume fluida pada deaerator tank saat pengujian berlangsung. Rumusan perhitungan volume tergantung dari dimensi tanki dan level fluida.

Kemudian menghitung nilai dari turbin heat rate, namun untuk menghitung turbin heat rate, terlebih dahulu menghitung nilai kalor yang masuk dan keluar pada turbin. Untuk menghitung nilai kalornya (Q) dengan cara mengalikan nilai aliran steam dengan entalpinya.

$$Q = \text{Heat In} - \text{Heat Out} \quad (3)$$

Sedangkan untuk menghitung turbin heat rate sendiri merupakan pembagian antara kalor (Q) dengan daya bangkitan yang mampu dibangkitkan oleh generator. Turbin heat rate merupakan jumlah kalor yang dibutuhkan oleh turbin untuk membangkitkan 1 kWh listrik, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Turbine Heat Rate} = \frac{\text{Heat in} - \text{Heat Out}}{\text{Generator Power Output}} \text{ (kJ/kWh)} \quad (4)$$

Semakin rendah nilai NPHR, semakin efisien pembangkit tersebut, karena lebih sedikit energi panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik. Perhitungan ini biasanya memerlukan data konsumsi bahan bakar dan energi listrik bersih (netto) yang dihasilkan oleh pembangkit. Untuk menghitung nilai NPHR dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

$$\text{Net Plant Heat Rate} = \frac{Q}{(\eta_{\text{Boiler}} * \eta_{\text{Generator}}) * \text{Generator Power Out Netto}} \quad (5)$$

Setelah diketahui nilai NPHR kemudian yang terakhir adalah menghitung efisiensi isentropic dari turbin uap. Setelah kedua nilai tersebut diketahui maka dapat dilakukan analisa dengan cara membandingkan hasil dari pengambilan data pada saat *Performance Test* dengan pada saat commissioning, selain dari kedua parameter tersebut juga dapat melihat parameter lain khususnya pada turbin uap untuk dilihat bagaimana deviasinya.

3. Hasil dan Diskusi

Turbin merupakan salah komponen utama yang ada pada sistem PLTU, dimana turbin bekerja memutar poros yang poros tersebut terkopel dengan poros generator untuk membangkitkan energi listrik. Uap yang masuk ke turbin akan menabrak pada bilah bilah turbin sehingga poros turbin dapat memutar. Atau dapat dikatakan mengubah energi kinetic dari uap menjadi kerja mekanis. Oleh karena itu energi panas dan kerja mekanis dari turbin uap perlu dianalisa untuk mengetahui kinerja dari turbin uap.

Dari data yang telah diperoleh didapat beberapa hasil perhitungan perhitungan yang telah disesuaikan dengan pedoman ASME PTC 6 *Performance Test for Steam Turbine* yaitu perhitungan NPHR dan efisiensi turbin. Ada beberapa data parameter yang harus diketahui untuk melakukan perhitungan NPHR dan efisiensi turbin uap. Berdasarkan ASME PTC 6 pengujian *performance* pada turbin uap dilakukan minimal dalam durasi 2 jam pada kondisi beban stabil. Pengambilan data parameter dilakukan pada rentang 5 menit sekali, sedangkan untuk parameter level bisa dilakukan pada rentang 10 menit sekali. Berikut merupakan data parameter yang digunakan untuk menghitung NPHR dan efisiensi turbin uap dimana dilakukan pada tanggal 16 Agustus 2024 pada saat *Performance Test* Unit 3 PLTU Tarahan.

Tabel 1. Data Parameter Operasi Turbin Uap

Parameter Operasi	Satuan	Nilai Terukur
Temperatur Steam	°C	539.67
Tekanan Steam	bar	123.6281766
Temperatur Final Feedwater	°C	230.8657143
Tekanan Final Feedwater	bar	134.1646815
Temperatur HPH 5 Inlet	°C	197.3113878
Temperatur HPH 4 Inlet	°C	172.2059796
Tekanan HPH 5 Inlet	bar	162.5068807
Tekanan HPH 4 Inlet	bar	162.5068807
Temperature Condensate water to deaerator	°C	132.4357347
Tekanan Condensate water to deaerator	bar	15.7651054
Tekanan Steam Extraction 1	bar	32.66545772
Tekanan Steam Extraction 2	bar	17.32265359
Tekanan Steam Extraction 3	bar	7.980609245
Temperatur Steam Extraction 1	°C	393.4562449
Temperatur Steam Extraction 2	°C	286.1848367
Temperatur Steam Extraction 3	°C	212.2563469
Temperatur Inlet Condensor	°C	44.32887143
Tekanan Inlet Condensor	bar	0.082463842
Superheater Spray Flow	kg/h	24712.32959
Final Feedwater flow	kg/h	312480.3878
Konsumsi batubara	kg/h	53380.00
Nilai Kalor batubara	kg/Kcal	4581.29

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa pembangkit mampu membangkitkan daya maksimum sebesar 95.76 MW dengan bahan bakar 100% batu bara (tanpa *co-firing*) membutuhkan bahan bakar sebanyak 53.380 kg/jam atau jika dikalikan dengan nilai kalor batu baranya setara 244.549.260,2 kCal/jam batu bara.

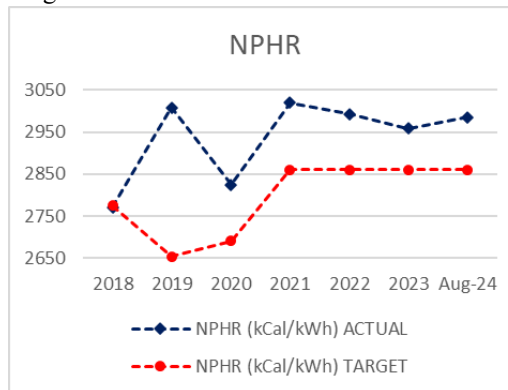
3.1. Hasil Perhitungan Nilai NPHR

Dalam upaya menilai efisiensi kinerja suatu pembangkit listrik, tidak cukup hanya mengacu pada tingkat konsumsi bahan bakarnya. Diperlukan pula parameter teknis lain yang lebih representatif, seperti *Turbine Heat Rate* dan *Net Plant Heat Rate* (NPHR). Kedua parameter ini merepresentasikan jumlah energi panas yang diperlukan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik. Perhitungan NPHR umumnya diawali dengan analisis *heat balance* pada sistem pemanas (heater), atau melalui estimasi nilai *final feedwater flow*, yaitu laju aliran air kondensat yang telah dipanaskan menggunakan uap ekstraksi dari turbin sebelum masuk ke boiler. Proses ini mencakup tahapan pemanasan awal melalui *Low Pressure Heater*, kemudian air tersebut dipompa oleh *boiler feed pump* untuk melanjutkan siklus termal.

Setelah nilai *final feedwater flow* diperoleh, langkah berikutnya adalah menentukan *Main Steam Flow* atau aliran uap utama yang masuk ke turbin. Nilai ini dihitung dengan menjumlahkan *final feedwater flow* dengan aliran air semprotan superheater (*superheater spray water*), lalu dikurangi dengan jumlah *make-up water* yang digunakan dalam sistem. Perhitungan ini memberikan gambaran mengenai total uap aktual yang masuk ke turbin dan menjadi dasar untuk menghitung efisiensi termal turbin.

Penghitungan *Turbine Heat Rate* memerlukan data mengenai energi panas masuk dan keluar dari turbin yang dinyatakan dalam satuan kalor (Q). Nilai kalor ini diperoleh dari hasil perkalian antara aliran uap dan entalpi pada kondisi masuk dan keluar turbin. Selanjutnya, *Turbine Heat Rate* dihitung dengan membagi total energi panas (Q) dengan daya listrik bersih yang dihasilkan oleh generator. Semakin kecil nilai NPHR dan *Turbine Heat Rate*, semakin efisien kinerja

pembangkit, karena menandakan bahwa energi panas yang digunakan untuk menghasilkan listrik relatif lebih sedikit. Oleh karena itu, perhitungan ini harus dilakukan secara cermat dan berbasis pada data yang akurat, terutama terkait konsumsi bahan bakar dan energi listrik bersih yang dihasilkan. Dalam salah satu pengujian kinerja (*performance test*), diperoleh nilai NPHR sebesar 2.985,08 kCal/kWh. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan target tahunan sebagai dasar untuk mengevaluasi tren efisiensi pembangkit dari tahun ke tahun.



Gambar 2. Grafik Trend NPHR

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam Gambar 2, dapat diketahui bahwa nilai NPHR aktual hanya mampu memenuhi target pada tahun 2018. Namun pada tahun 2019, ketika target efisiensi ditingkatkan dengan menurunkan nilai NPHR yang diharapkan, justru terjadi peningkatan signifikan pada nilai aktual NPHR, sehingga menciptakan gap yang cukup besar antara target dan realisasi. Tren penurunan nilai NPHR mulai terlihat kembali pada periode 2021 hingga 2023, namun nilainya tetap belum mampu mencapai target yang ditetapkan. Untuk tahun 2024, evaluasi dilakukan berdasarkan data hasil *performance test* yang dilaksanakan pada bulan Agustus, di mana NPHR aktual tercatat sebesar 2.985,09 kCal/kWh, masih berada di atas target sebesar 2.860 kCal/kWh.

Lebih lanjut, apabila dibandingkan dengan data pada saat *commissioning*, seperti yang tercantum pada Tabel 2, terlihat adanya penurunan kinerja pembangkit. Daya maksimal yang dapat dibangkitkan menurun dari 100 MW pada saat *commissioning* menjadi hanya 94,65 MW saat dilakukan *performance test*. Selain itu, kualitas batubara yang digunakan juga mengalami penurunan. Pada awal pengoperasian, batubara yang digunakan memiliki nilai kalor sebesar 4.908,46 kCal/kg, sedangkan pada saat pengambilan data terbaru, nilai kalornya menurun menjadi 4.581,29 kCal/kg. Penurunan kualitas batubara ini secara langsung mempengaruhi performa termal pembangkit.

Kenaikan nilai NPHR dari 2.517,41 kCal/kWh pada masa awal operasi menjadi 2.985,09 kCal/kWh menunjukkan adanya peningkatan kebutuhan energi panas untuk menghasilkan satu kilowatt-jam listrik. Kenaikan sebesar 467,68 kCal/kWh ini mengindikasikan bahwa pembangkit menjadi kurang efisien dibandingkan saat awal beroperasi. Oleh karena itu, perlu dilakukan audit energi secara menyeluruh, baik dari aspek termal maupun mekanikal, untuk mengidentifikasi penyebab penurunan efisiensi dan menentukan langkah-langkah perbaikan yang tepat.

3.2. Efisiensi Isentropik Turbin Uap

Selain menghitung nilai turbin heat rate dan NPHR selanjutnya adalah menghitung nilai efisiensi turbin uap. Efisiensi turbin uap dihitung berdasarkan data yang sama yaitu data parameter operasi yang diambil ketika *Performance Test* pada tanggal 16 Agustus 2024 PLTU Tarahan. Efisiensi yang dihitung merupakan efisiensi turbin uap secara isentropik. Konsep dasarnya adalah membandingkan seberapa banyak kerja (energi) yang benar-benar dihasilkan turbin (kerja aktual) dengan kerja maksimum yang bisa dihasilkan dalam kondisi ideal (kerja isentropik). Seperti yang tertera pada Tabel 2 dapat dilihat bahwa efisiensi turbin uap sebesar 84,91%. Selain itu juga bisa dilihat beberapa deviasi pada beberapa parameter operasi pada turbin uap.

Tabel 2 Perbandingan nilai parameter operasi

Parameter	Symbol	Unit	HP Turbine	
			Commisioning	ACTUAL
Inlet				
Pressure	P_{in}	bar(a)	129.52	125.03
Temperature	T_{in}	$^{\circ}C$	538.89	538.35
Enthalphy	H_{in}	kJ/kg	3,442.65	3447.58
Entropi	S_{in}	kJ/kg ($^{\circ}C$)	6.58	6.60
Outlet				
Pressure	P_{out}	bar(a)	0.08	0.08
Temperature	T_{out}	$^{\circ}C$	40.60	44.31
Saturated Enthalphy	HLP_{out}	kJ/kg	2,206.52	2277.90
Entropi	S_{out}	kJ/kg ($^{\circ}C$)	7.07	7.26
Enthalphy Isentropis	$H_{isentropis}$	kJ/kg	2,050.86	2070.08
Kerja Turbin Aktual	ΔP_{aktual}	kJ/kg	1,236.12	1169.68
Kerja Turbin Ideal	$\Delta HP_{isentropis}$	kJ/kg	1,391.79	1377.49
Rugi-Rugi Turbin	L_T	kJ/kg	155.67	207.82
Selisih Entropi	ΔS_1	kJ/kg ($^{\circ}C$)	0.50	0.66
Efisiensi Turbin	η_{turbin}	%	88.82	84.91

Pada Tabel 3 yang merupakan tabel perbandingan beberapa parameter yang terjadi pada saat awal *commissioning* dengan pada saat *performance test*. Dapat dilihat bahwa terjadi penurunan pada tekanan uap yang masuk ke dalam turbin, pada saat awal uap masuk turbin bernilai hingga 129,52 bar sedangkan pada saat *performance test* tekanan uap masuk turbin hanya sebesar 123,64 bar namun untuk parameter temperature uap masuk turbin tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Kerja turbin secara aktual juga terlihat menurun apabila dibandingkan pada saat awal operasi. Pada saat awal operasi kerja turbin secara aktual sebesar 1.236,12 kJ/kg menurun menjadi 1.169,68 kJ/kg pada saat dilakukan *performance test*. Yang paling utama yaitu efisiensi isentropic dari turbin uap yang pada saat awal operasi sebesar 88,82% pada saat awal beroperasi, kondisi aktual pada saat *performance test* efisiensi turbin uap menurun menjadi 84,91% atau menurun 3,91% setelah 17 tahun beroperasi. Untuk mempertahankan performa turbin uap dapat dilakukan dengan berbagai cara, diantaranya adalah dengan melakukan perawatan turbin uap secara berkala, mengecek kondisi bearing, poros dan blade secara terjadwal, memperbaiki komponen-komponen turbin uap yang rusak.

3.3. Rekomendasi

Setelah dilakukan analisis dengan cara melihat hasil perbandingan operasi dengan pada saat *commissioning* ternyata terdapat beberapa deviasi nilai pada beberapa parameter, diantaranya terdapat pada flow yang berlebih, penurunan efisiensi yang signifikan serta kenaikan nilai NPHR yang jauh jika dibandingkan pada saat *commissioning* dan masih di atas target, oleh karena itu diberikan beberapa rekomendasi untuk mengembalikan performa turbin uap. Adapun beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menjaga performa turbin uap atau bahkan dapat mengembalikan performa turbin uap mendekati nilai pada saat *commissioning*. Dibawah ini akan disajikan beberapa pilihan rekomendasi yang bisa dilakukan oleh pihak PLTU. Apabila dilihat dari segi ekonomi rekomendasi ada beberapa pilihan rekomendasi yang bisa dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang terjadi.

Tabel 3. Rekomendasi 1

Kategori	Saran Perbaikan	Perkiraan Biaya	Payback Period
Tanpa biaya	Melakukan kalibrasi transmitter atau flowmeter superheater	Rp -	0
Biaya rendah	Melakukan pengecekan dan inspeksi secara NDT pada blade turbin	Rp 200,000,000.00	0.000595621
Biaya menengah	Melakukan perbaikan pada blade dan sudut clearance turbin	Rp 600,000,000.00	0.001786863
Biaya tinggi	Melakukan penggantian blade turbin.	Rp 1,500,000,000.00	0.004467158
Biaya sangat tinggi	Melakukan penggantian turbin secara menyeluruh	Rp 313,670,000,000.00	0.934142323

Untuk mengatasi permasalahan adanya flow uap masuk turbin yang melebihi dari nilai acuan, maka terdapat beberapa rekomendasi untuk mengatasi permasalahan ini mulai dari tanpa biaya hingga yang menekan biaya yang sangat tinggi. Rekomendasi pertama yang dapat dilakukan yaitu dilakukan kalibrasi pada transmitter atau flowmeter pada bagian superheater. Kemudian rekomendasi lain yang dapat dilakukan adalah melakukan pengecekan dan inspeksi pada blade turbin secara NDT, melakukan perbaikan blade dan sudut clearance pada turbin, bahkan apabila memang kondisi blade sudah tidak layak digunakan maka dapat dilakukan penggantian bilah turbin. Rekomendasi rekomendasi ini dapat dilakukan ketika *overhaul* dilaksanakan.

Tabel 4 Rekomendasi 2

Kategori	Saran Perbaikan	Perkiraan Biaya	Payback Period
Biaya rendah	Melakukan pengecekan secara visual dan NDT pada thrust bearing	Rp 75,000,000.00	0.000223358
Biaya menengah	Melakukan perbaikan atau penggantian beberapa part seperti shim/pad pada thrust bearing	Rp 300,000,000.00	0.000893432
Biaya tinggi	Mengganti thrust bearing secara menyeluruh	Rp 1,000,000,000.00	0.002978105
Biaya sangat tinggi	Melakukan penggantian turbin secara menyeluruh	Rp 313,670,000,000.00	0.934142323

Adanya pembatasan tekanan uap yang masuk turbin ini dikarenakan adanya pembatasan operasional terkait kenaikan temperature thrust bearing yang apabila dipaksakan mengatur tekanan uap masuk turbin yang lebih tinggi lagi dikhawatirkan PLTU akan terjadi trouble atau bahkan *shutdown* sebelum *overhaul* yang dijadwalkan. Oleh karena itu terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan pada saat *overhaul*. Rekomendasi yang pertama yaitu dapat melakukan pengecekan dan inspeksi secara NDT pada thrust bearing, mengganti komponen pada thrust bearing bisa bagian *shim* atau *padnya* saja. Namun apabila kerusakan pada thrust bearing sudah parah maka dapat dilakukan penggantian secara menyeluruh pada thrust bearing

4. Kesimpulan

Pada saat uji kinerja (Performance Test) yang dilaksanakan pada tanggal 16 Agustus 2024, untuk membangkitkan beban maksimum dibutuhkan batubara sebanyak 53.380 kg per jam atau setara dengan 244.549.260,2 kkal per jam,

dengan nilai kalor batubara sebesar 4.860 kkal per kilogram. Sementara itu, pada uji kinerja bulan Desember 2024 dengan jenis batubara yang sama, kebutuhan batubara menurun menjadi 51.640 kg per jam.

Selain itu, terjadi penurunan efisiensi isentropis pada turbin uap. Pada saat awal beroperasi, efisiensinya tercatat sebesar 88,82%, kemudian menurun menjadi 84,91% pada bulan Agustus 2024. Namun, setelah dilakukan *major overhaul*, efisiensi turbin uap pada bulan Desember 2024 meningkat kembali hingga mencapai 87,07%, mendekati nilai efisiensi awal.

Selanjutnya, nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) mengalami peningkatan. Pada awal *commissioning*, nilai NPHR tercatat sebesar 2.517,41 kkal/kWh, kemudian meningkat menjadi 2.985 kkal/kWh, atau naik sebesar 4,3% dari ambang batas yang telah ditetapkan, yaitu 2.860 kkal/kWh. Setelah dilakukan *major overhaul*, pada bulan Desember 2024 nilai NPHR dapat ditekan hingga 2.945 kkal/kWh. Meskipun menunjukkan sedikit penurunan dibandingkan dengan hasil pada bulan Agustus 2024, nilai tersebut masih belum berada di bawah target yang telah ditentukan.

5. Ucapan Terimakasih

Saya ingin menyampaikan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada PENS atas fasilitas dan dukungan yang telah diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih secara khusus saya sampaikan kepada PT PLN Nusantara Power UP Tarahan, Keluarga Sistem Pembangkit Energi, atas dorongan, serta masukan yang berharga dan penuh wawasan, yang sangat berperan penting dalam penyelesaian studi ini.

6. Daftar Pustaka

- Arakelyan, K., Andryushin, A. V., Pikina, G. A., Mezin, S. V., & Kosoy, A. A. (2019). The choice of the optimal energy-saving technology redundant power steam turbines during the passage of the daily schedules of power consumption gaps. *Procedia Computer Science*, 156, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.013>
- Blažević, S., Mrzljak, V., Anđelić, N., & Car, Z. (2019). Comparison of energy flow stream and isentropic method for steam turbine energy analysis. *Acta Polytechnica*, 59(2), 109–125. <https://doi.org/10.14311/AP.2019.59.0109>
- Buliaminu, K., et al. (2018). Design of steam turbine for electric power production using heat energy from palm kernel shell. *Journal of Power and Energy Engineering*, 6(11).
- Hariyanto, et al. (2015). *Prosedur standar dan teknik audit energi di industri*. Tangerang Selatan: Balai Besar Teknologi Energi (B2TE).
- Joseph Omosanya, A., Titilayo Akinlabi, E., & Olusegun Okeniyi, J. (2019). Overview for improving steam turbine power generation efficiency. In *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/17426596/1378/3/032040>
- Kolesnikova, O. V., Tsybakaikina, A. D., & Shiriaeva, T. A. (2020, June). Method for evaluating the steam turbines operating efficiency. In *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)* (pp. 1–5).
- Kumar Tatipaka, J. (2017). Steam consumption in turbine with energy auditing. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/328880531>
- Li, X., Liu, J., Wang, K., Wang, F., & Li, Y. (2019). Performance analysis of reheat steam temperature control system of thermal power unit based on constrained predictive control. *Complexity*, 2019, Article ID 9361723. <https://doi.org/10.1155/2019/9361723>
- Mrzljak, V. (2018). Low power steam turbine energy efficiency and losses during the developed power variation. *Tehnički glasnik*, 12(3), 174–180. <https://doi.org/10.31803/tg-20180201002943>
- Nilasari, S. (2023). *Perancangan sistem pengaturan temperatur superheater PLTU dengan mengendalikan laju aliran superheater spray menggunakan metode Neuro-PID* (Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Oyedepo, S. O., et al. (2020). Thermodynamics analysis and performance optimization of a reheat–regenerative steam turbine power plant with feed water heaters. *Fuel*, 280, Article 118577. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118577>

PT PLN (Persero). (n.d.). Retrieved from <http://www.pln.co.id>

Sidiq, A. N., & Anwar, M. (2021). Perbandingan efisiensi turbin uap kondisi aktual berbasis data komisioning sesuai standard ASME PTC 6. *Kilat*, 10(1), 190–199.

Sun, Y., & Han, X. (2019). Research on the influence of thermal performance of steam turbine on energy loss and heat rate. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/677/3/032013>

Suwasti, S., Abdullah, M. S., & Asdar, S. A. (2020). Analisis efisiensi termal sistem PLTGU Sengkang pada tekanan uap ekstraksi yang bervariasi. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 18(2), 157–162.

Ujung, M. F. (2020). *Analisis kinerja turbin uap mini dengan tekanan uap 500 kPa* (Skripsi, Universitas Medan Area).

Zhang, T. (2020). Methods of improving the efficiency of thermal power plants. In *Journal of Physics: Conference Series*. Institute of Physics Publishing. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1449/1/012001>

Zhu, Q., Luo, X., Zhang, B., Chen, Y., & Mo, S. (2016). Mathematical modeling, validation, and operation optimization of an industrial complex steam turbine network—Methodology and application. *Energy*, 97, 191–213. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.112>