

Evaluasi Kinerja Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap Punagayya Nusantara Power Jeneponto Sulawesi Selatan

A. Anugrah Shafar, Mahmuddin, Sungkono

Program Studi Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Muslim Indonesia.

Jl. Urip Sumoharjo No. 225 Kota Makassar, 90231

Email: anugrah2805@gmail.com

Revisi 3 bulan tahun; Diterima 17 November; publikasi Online 30 Desember 2025

Abstrak, Penelitian ini mengevaluasi kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Punagayya Nusantara Power di Jeneponto, Sulawesi Selatan, yang telah beroperasi sejak tahun 2017. Tujuan utamanya adalah menilai penurunan performa turbin dan pompa, serta perubahan efisiensi termal siklus Rankine setelah delapan tahun beroperasi. Metode yang digunakan meliputi perhitungan manual berdasar data operasional lapangan—termasuk tekanan, temperatur, laju alir, entalpi, dan entropi—yang diambil langsung dari sistem kontrol pusat dan diverifikasi dengan spesifikasi teknis pabrikan. Analisis daya keluaran turbin dilakukan pada dua tingkat tekanan: high pressure turbine (67,51 MW) dan low pressure turbine (28,98 MW), sehingga total daya turbin mencapai 96,49 MW. Pompa kondensat dan pompa air umpan masing-masing mengonsumsi 105,78 kW dan 1.270 kW. Berdasarkan neraca energi, kalor masuk pada boiler tercatat 261,88 MW, menghasilkan daya siklus bersih 95,12 MW. Efisiensi turbin aktual terukur 75,66 %, sedangkan efisiensi termal siklus hanya 36,31 %, menurun dari kondisi desain 39,17 %. Perbandingan dengan kondisi standar mengungkapkan penurunan tekanan dan temperatur uap utama, peningkatan tekanan kondensasi, serta deviasi proses ekspansi uap pada titik-titik ekstraksi. Faktor-faktor ini memicu peningkatan irreversibilitas termodinamika, konsumsi bahan bakar spesifik lebih tinggi, dan emisi yang lebih besar. Rekomendasi mencakup optimasi operasi boiler, pemeliharaan sudu turbin, dan perbaikan feedwater heater. Kontribusi penelitian adalah metodologi sederhana yang dapat diimplementasikan pada PLTU lain tanpa investasi perangkat lunak mahal.

Kata kunci :Daya Pompa, efisiensi turbin, efisiensi termal, PLTU, siklus rankine

1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak digunakan di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. PLTU mengandalkan proses pembakaran bahan bakar, biasanya batu bara, untuk menghasilkan uap yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. Dalam sistem ini, komponen utama memiliki peran yang sangat krusial dalam menjaga efisiensi dan keandalan operasi. Penelitian ini mengevaluasi efisiensi boiler CFB unit 3 di PLTU Jeranjang Indonesia Power (Lombok, Nusa Tenggara Barat) dengan metode langsung. Perhitungan pada beban 25,8 MW menunjukkan efisiensi sebesar 73,17%, yang tergolong rendah. Kondisi ini terjadi karena aliran uap menurun akibat kebocoran di bagian atas boiler unit 3, sehingga uap terbuang dan menurunkan efisiensi. Temuan ini menegaskan perlunya perbaikan segera pada area-area yang bocor [1].

Analisis boiler subkritis dan superkritis menggunakan algoritma genetika di Matlab dengan perhitungan termodinamika pada pembangkit uap menunjukkan kinerja berupa efisiensi 44,57 %, turbine heat rate 2211,4 kJ/kg, dan konsumsi bahan bakar spesifik 0,375 kg/kWh, simulasi peralihan dari kondisi subkritis ke superkritis meningkatkan efisiensi termal sekaligus mengurangi kebutuhan bahan bakar [2]. Selanjutnya, studi Hidden Capacity pada PLTU uap diterapkan dengan metode ASME PTC 4 melalui analisis termodinamika dan pemodelan di GateCycle pada PLTU Barru unit 2, yang menguji variasi pasokan batubara pada beban penuh sebelum dan sesudah overhaul—hasil simulasi pada beban 100 % mengungkapkan heat loss yang memengaruhi efisiensi turbin pada kedua kondisi operasi [3].

Penelitian ini menelaah dampak peningkatan aliran udara sekunder terhadap kinerja boiler dan turbin di PLTU Moramo dengan mengukur kadar O₂ pada gas buang boiler. Hasil menunjukkan bahwa penyesuaian pasokan udara sekunder secara signifikan memengaruhi efisiensi boiler, sedangkan pengaruhnya pada efisiensi turbin hanya bersifat minor. Penerapan variasi excess O₂ dalam gas buang sebesar 3,0%, 3,5%,

4,0%, 4,5%, dan 5,0% menghasilkan konsumsi bahan bakar spesifik masing-masing 0,660 kg/kWh, 0,663 kg/kWh, 0,670 kg/kWh, 0,676 kg/kWh, dan 0,677 kg/kWh [4]. Penelitian tentang evaluasi daya sistem PLTU Kendari 3 dengan metode economic dispatch. Pada penelitian ini menggunakan metode economic dispatch dengan membandingkan gross plant heat rate (GPHR) antara unit 1 dan unit 2 dalam tiap variasi pembebanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa GPHR tertinggi berada pada pembebanan 30 MW untuk unit 1 dan unit 2. Untuk mencapai pembangkitan efisien, beban listrik paling optimal pada permintaan beban 100 MW, dimana unit 1 dibebani 44,85 MW dan unit 2 dibebani 55,14 MW dan menghasilkan penghematan biaya produksi senilai Rp 244.000/jam [5].

Penelitian ini mengkaji kinerja boiler dan turbin uap di Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT. Semen Tonasa dengan tujuan menilai pengaruh variasi kelebihan O_2 pada proses pembakaran terhadap efisiensi kedua mesin. Tiga tingkat eksese O_2 —5,0%, 5,5%, dan 6,0%—yang setara dengan rasio udara-bahan bakar (AFR) masing-masing 13,61, 13,73, dan 13,81, diterapkan untuk menentukan efisiensi. Hasilnya menunjukkan efisiensi boiler menurun bertahap dari 60,63% menjadi 60,30% dan 60,08%, efisiensi termal siklus berkurang dari 63,56% menjadi 62,88% lalu 61,01%, sedangkan efisiensi turbin tercatat 68,25%, 62,44%, dan 62,00% [6].

Penelitian evaluasi kinerja boiler unit 1 di PLTU Jeneponto menunjukkan bahwa efisiensi boiler dengan metode langsung pada kondisi operasi 5 Agustus 2018 dan 22 Februari 2019 masing-masing tercatat 73,24% dan 70,40%, sedangkan jika dihitung dengan metode tidak langsung efisiensi tersebut mengalami penurunan dibandingkan efisiensi komisioning sebesar 92,27% [7]. Prinsip Kerja PLTU didasarkan pada siklus Rankine, yaitu suatu siklus termodinamika yang melibatkan konversi energi panas menjadi energi mekanik dan kemudian energi listrik. Turbin bekerja berdasarkan prinsip Hukum termodinamika pertama, yaitu konversi energi panas menjadi energi mekanik [8]. Uap yang dihasilkan dari boiler memiliki entalpi (energi panas) yang sangat tinggi. Ketika uap tersebut melewati turbin, sebagian besar entalpi uap dikonversi menjadi energi kinetik, yang kemudian digunakan untuk memutar poros turbin [9].

Pada pembangkit listrik yang umum ditemui di Indonesia, terdapat beberapa modifikasi-modifikasi yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dari unit PLTU tersebut. Modifikasi siklus rankine adalah dengan menambahkan peralatan regenerasi yang berfungsi untuk memanaskan uap air umpan menggunakan ekstraksi bertekanan dan bertemperatur yang masih cukup tinggi dari turbin. Proses ini membantu untuk menaikkan temperatur air umpan agar kinerja boiler dapat menghemat energi dengan melakukan penurunan konsumsi bahan bakar [10]. Berbagai kajian sebelumnya mengenai evaluasi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) umumnya telah dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak simulasi atau model numerik untuk memperoleh gambaran menyeluruh terhadap performa sistem. Namun, pendekatan-pendekatan tersebut cenderung belum secara optimal merepresentasikan kondisi operasional aktual di lapangan. Dalam penelitian ini, suatu analisis dilakukan dengan pendekatan manual yang berbasis pada data operasional yang diperoleh dari sistem turbin PLTU.

Kebaruan (*novelty*) dihadirkan melalui penerapan metode analitik konvensional tanpa bantuan perangkat lunak pemodelan, dengan fokus pada perhitungan daya output turbin, daya pompa, efisiensi turbin, serta efisiensi termal siklus rankine. Permasalahan utama yang dianalisis mencakup sejauh mana penyimpangan performa turbin dari nilai rancangannya, serta dampaknya terhadap efisiensi termal sistem secara keseluruhan. Analisis dilakukan dengan menggunakan prinsip-prinsip dasar termodinamika, khususnya hukum pertama, serta data entalpi dan laju aliran massa yang diperoleh dari pengukuran aktual di lapangan.

Untuk menghitung efisiensi turbin terlebih dahulu menentukan massa aliran uap ekstraksi menggunakan persamaan kesetimbangan energi berupa :

$$m_{in} \cdot h_{in} = m_{out} \cdot h_{out} \dots\dots\dots (1)$$

Setelah memperoleh nilai massa setiap uap ekstraksi pada turbin, selanjutnya menghitung daya dibangkitkan oleh turbin dengan persamaan

$$N_t = m \cdot (h_{in} - h_{out}) \dots\dots\dots (2)$$

Untuk menghitung efisiensi turbin dengan persamaan :

$$\eta_{turbine} = N_t / (Q_{boiler} - Q_{ekstraksi}) \dots\dots\dots (3)$$

Dan untuk menghitung efisiensi thermal dengan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{W_{siklus}}{Q_{in}} \dots\dots\dots (4)$$

Ket :

m : massa fluida kerja (kg/s)

h : entalpi fluida kerja (kJ/kg)

N_t : daya turbin (MW)

Q : kalor yang digunakan (MW)

Melalui pendekatan ini, diharapkan dapat disajikan suatu metode alternatif yang sederhana namun aplikatif dalam mengevaluasi efisiensi sistem PLTU, serta memberikan kontribusi praktis bagi pengelolaan dan optimasi sistem pembangkitan.

Pelaksanaan penelitian di PLTU Nusantara Power Punagayya dilakukan beberapa tahapan :

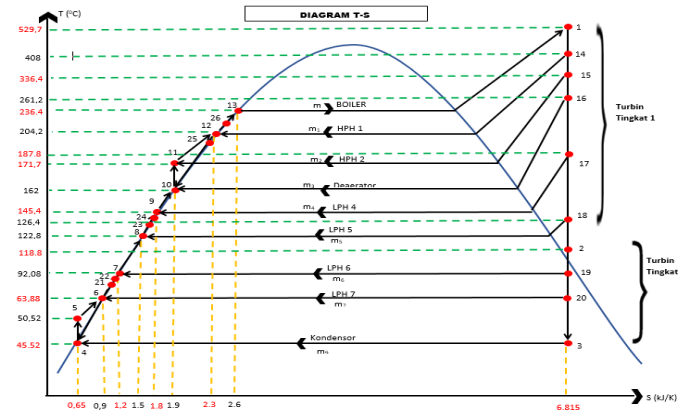
- 1.1. Melakukan pengambilan data melalui *manual book* atau spesifikasi teknis terhadap Instalasi PLTU, turbin, ekstraksi uap, *drain water*, dan pompa;
- 1.2. Melakukan pengambilan data tekanan, tempratur, dan laju aliran fluida kerja aktual pada *diagram graphic system* yang berada pada *central control room*.; data yang didapatkan dari sistem akan dihitung untuk mengetahui nilai aktual berupa daya turbin, daya pompa, efisiensi turbin dan efisiensi thermal. Setelah semua proses pengambilan data dilakukan.
- 1.3. Data aktual dalam sistem *central control room* dan *manual book* atau spesifikasi teknis akan dikumpulkan, untuk selanjutnya akan diverifikasi dan dipastikan tidak ada data yang *error*. Jika ditemukan ketidaksesuaian atau *error*, maka akan dilakukan pengecekan kembali pada alat ukur tersebut dan dilakukan pengambilan data kembali sesuai tahapan sebelumnya.
- 1.4. Analisis hasil perhitungan, data aktual yang telah dihitung akan dibandingkan dengan data pada *manual book* atau spesifikasi teknis yang diperoleh sehingga dapat memberikan informasi seberapa besar penurunan efisiensi PLTU dari awal pengoperasian hingga saat ini.

Adapun penjelasan dari gambar 1 diuraikan sebagai berikut : air umpan dari boiler *feed pump* dialirkan ke boiler. Di dalam boiler, air dipanaskan dan dikonversi menjadi uap super panas (*superheated steam*). Uap dari boiler diarahkan ke *high pressure* (HP) turbin, menghasilkan kerja dan memutar generator. Uap yang keluar dari HP turbin sebagian diekstraksi dan sebagian diteruskan ke *low pressure* (LP) turbin. Uap masuk ke LP turbin, melakukan ekspansi lebih lanjut, lalu keluar sebagai uap tekanan rendah. Uap dari turbin masuk ke kondensor dan didinginkan menjadi air cair (kondensat) oleh media pendingin berupa air laut. Kondensat cair dipompa oleh *condensate pump* yang akan melalui pemanasan bertahap air umpan oleh uap ekstraksi dari turbin. LPH 4 – LPH 6 masing-masing meningkatkan suhu air umpan sedikit demi sedikit yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi termal siklus menuju deaerator. Air dari deaerator mengalir ke boiler yang dipompa oleh *feedwater pump*. Setelah keluar dari pompa feedwater, air dialirkan ke HPH 1 dan HPH 2 untuk dipanaskan lagi oleh uap dari turbin sebelum masuk ke boiler. Sementara itu, ekstraksi uap dari turbin 1 dan turbin 2 dialirkan ke feed water heater dan deaerator untuk memanaskan air

umpan. Ini meningkatkan efisiensi termal karena uap tidak langsung dibuang tapi dimanfaatkan kembali. Hasil dari ekstraksi uap akan menghasilkan *drain wateoiyr* air jenuh setelah memanaskan air utama yang akan mengalir ke boiler. Data operasional tanggal 24 Juni 2025 yang diperoleh ditampilkan pada tabel 1.

Tabel 1 Data Operasional PLTU Punagayya Nusantara Power

Titik Perhitungan	Tekanan (MPa)	Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg.k)	Kondisi
Titik 1	8,425	529,678	3467,53	6,815	<i>Superheated steam</i>
Titik 2	0,152	118,804	2708,62	6,815	<i>Superheated steam</i>
Titik 3	0,010	45,516	2158,462	6,815	campuran
Titik 4	0,010	45,516	191,81	0,6492	cairan jenuh
Titik 5	1,6	50,52	193,416	0,6492	cairan tertekan
Titik 6	1,6	63,88	277,902	0,9106	cairan jenuh
Titik 7	1,6	92,08	385,8	1,217	cairan jenuh
Titik 8	1,6	122,76	515,546	1,558	cairan jenuh
Titik 9	1,6	145,43	612,83	1,797	cairan jenuh
Titik 10	0,65	161,98	684,08	1,962	cairan jenuh
Titik 11	10,53	171,7	694,988	1,962	cairan tertekan
Titik 12	10,53	204,2	871,252	2,37	cairan jenuh
Titik 13	10,53	236,42	1020,459	2,67	cairan jenuh
Titik 14	3,04	408	3249,16	6,815	<i>superheated steam</i>
Titik 15	1,64	336,41	3115,043	6,815	<i>superheated steam</i>
Titik 16	0,62	261,21	2979,661	6,815	<i>superheated steam</i>
Titik 17	0,36	187,76	2837,41	6,815	<i>Superheated steam</i>
Titik 18	0,12	126,39	2727,55	6,815	<i>Superheated steam</i>
Titik 19	0,101	96,29	2474,04	6,815	campuran
Titik 20	0,030	65,88	2279,53	6,815	campuran
Titik 21	0,034	71,75	300,406	0,976	cairan jenuh
Titik 22	0,070	90,07	377,334	1,194	cairan jenuh
Titik 23	0,233	125,19	525,88	1,583	cairan jenuh
Titik 24	0,39	143,47	604,067	1,775	cairan jenuh
Titik 25	1,493	198,03	843,403	2,312	cairan jenuh
Titik 26	2,922	232,36	1001,26	2,631	cairan jenuh



Gambar 2. Diagram T-s PLTU NP Jeneponto 100 MW

3.1. Menghitung kesetimbangan energi pada HPH 1

Diketahui, $m = 419,64 \text{ ton/h} = 116,57 \text{ kg/s}$

Dengan menggunakan persamaan (1) :

$$(m \cdot h_{12}) + (m_1 \cdot h_{14}) = (m \cdot h_{13}) + (m_1 \cdot h_{26})$$

$$m_1 = \frac{m(h_{13} - h_{12})}{h_{14} - h_{26}}$$

$$m_1 = \frac{116,57 (1020,459 - 871,2524)}{3249,16 - 1001,26}$$

$$m_1 = 7,74 \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)$$

3.2. Menghitung Daya yang dihasilkan oleh steam turbin dengan menggunakan persamaan (2)

$$N_{Ta} = (m_0 - m_1) \cdot (h_1 - h_{14})$$

$$N_{Ta} = (107,02 - 7,74) \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot (3467,35 - 3249,16) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$N_{Ta} = 21,72 \text{ MW}$$

$$N_{Tb} = (m_0 - m_1 - m_2) (h_{14} - h_{15})$$

$$N_{Tb} = (107,02 - 7,71 - 5,63) \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot (3249,16 - 3115,043) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$N_{Tb} = 12,58 \text{ MW}$$

$$N_{Tc} = (m_0 - m_1 - m_2 - m_3) (h_{15} - h_{16})$$

$$N_{Tc} = (107,02 - 7,74 - 5,63 - 4,28) (\text{kg/s}) \cdot (3115,043 - 2979,661) (\text{kJ/kg})$$

$$N_{Tc} = 12,13 \text{ MW}$$

$$N_{Td} = (m_0 - m_1 - m_2 - m_3) (h_{16} - h_{17})$$

$$N_{Td} = (107,02 - 7,74 - 5,63 - 4,28 - 4,47) (\text{kg/s}) \cdot (2979,661 - 2837,41) (\text{kJ/kg})$$

$$N_{Td} = 12,15 \text{ MW}$$

$$N_{Te} = (m_0 - m_1 - m_2 - m_3) (h_{17} - h_{18})$$

$$N_{Te} = (107,02 - 7,74 - 5,63 - 4,28 - 4,47 - 4,99) (\text{kg/s}) \cdot (2837,41 - 2727,067) (\text{kJ/kg})$$

$$N_{Te} = 8,92 \text{ MW}$$

$$N_{Tx} = (m_8 - m_6) (h_2 - h_{19})$$

$$N_{Tx} = (73,16 - 4,21) \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot (2708,62 - 2474,04) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$N_{Tx} = 16,19 \text{ MW}$$

$$N_{Ty} = (m_8 - m_6 - m_7) (h_{19} - h_{20})$$

$$N_{Ty} = (73,16 - 4,21 - 3,27) \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) \cdot (2474,04 - 2279,53) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$N_{Ty} = 12,8 \text{ MW}$$

Sehingga daya total yang dihasilkan turbin yaitu :

$$N_{\text{Total}} = N_{T1} + N_{T2}$$

$$N_{\text{Total}} = 67,51 + 28,96 = 96,49 \text{ MW}$$

3.3. Menghitung efisiensi turbin dengan menggunakan persamaan (3)

$$\eta_{\text{Turbin}} = N_{\text{Total}} / (Q_{\text{boiler}} - Q_{\text{ekspansi}})$$

$$\eta_{\text{Turbin}} = 96,49 \text{ MW} / (371,1 - 243,56) \text{ MW}$$

$$\eta_{\text{Turbin}} = 75,66 \%$$

3.4. Menghitung daya yang digunakan pompa kondensat dengan menggunakan persamaan (2)

$$W_{p1} = m_{10} (h_5 - h_4)$$

$$W_{p1} = 65,87 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (193,416 - 191,81) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_{p1} = 105,78 \text{ kW}$$

3.5. Menghitung daya yang digunakan pompa feedwater boiler dengan menggunakan persamaan (2)

$$W_{p2} = m (h_{11} - h_{10})$$

$$W_{p2} = 116,567 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (694,988 - 684,08) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$W_{p2} = 1,27 \text{ MW}$$

3.6. Menghitung kalor yang dibutuhkan boiler dengan menggunakan persamaan (2)

$$Q_{\text{in}} = m_0 (h_1 - h_{13})$$

$$Q_{\text{in}} = 107,02 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot (3467,53 - 1020,459) \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$Q_{\text{in}} = 261,88 \text{ MW}$$

3.7. Menghitung daya siklus pada PLTU

$$W_{\text{siklus}} = \{N_{\text{Total}} - (W_{p1} + W_{p2})\} \quad (8)$$

$$W_{\text{siklus}} = \{96,49 - (0,1057 + 1,27)\} \text{ MW}$$

$$W_{\text{siklus}} = 95,12 \text{ MW}$$

3.8. Menghitung efisiensi thermal pada PLTU dengan menggunakan persamaan (4)

$$\eta_{\text{Th}} = \frac{W_{\text{siklus}}}{Q_{\text{in}}}$$

$$\eta_{\text{Th}} = \frac{95,12 \text{ MW}}{261,88 \text{ MW}}$$

$$\eta_{\text{Th}} = 0,3631 \text{ atau } 36,31 \%$$

Berdasarkan hasil analisis perhitungan sebelumnya, penulis kemudian melakukan evaluasi kinerja kondisi standar PLTU berdasarkan manual book terhadap kondisi operasional pertanggal 22 Juni 2025. Adapun hasil perbandingan kinerja di tampilkan pada tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan kondisi standar dan kondisi saat ini

	Kondisi standar	Kondisi saat ini
<i>Main Steam</i>	Tekanan : 8,826 MPa Temperatur : 535 °C Enthalpy : 3475 kJ/kg	Tekanan : 8,425 MPa Temperatur : 529,7 °C Enthalpy : 3467 kJ/kg
<i>Inlet kondensor</i>	Tekanan : 0,0082 MPa Temperatur : 42,1 °C Enthalpy : 2280 kJ/kg	Tekanan : 0,010 MPa Temperatur : 45,516 °C Enthalpy : 2158,5 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 14	Tekanan : 3,152 MPa Temperatur : 393,7 °C Enthalpy : 3216 kJ/kg	Tekanan : 3,04 MPa Temperatur : 408 °C Enthalpy : 3249,2 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 15	Tekanan : 1,803 MPa Temperatur : 321 °C Enthalpy : 3078 kJ/kg	Tekanan : 1,64 MPa Temperatur : 336,41 °C Enthalpy : 3115 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 16	Tekanan : 0,973 MPa Temperatur : 248 °C Enthalpy : 2941 kJ/kg	Tekanan : 0,62 MPa Temperatur : 261,21 °C Enthalpy : 2979,7 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 17	Tekanan : 0,458 MPa Temperatur : 171,5 °C Enthalpy : 2795 kJ/kg	Tekanan : 0,36 MPa Temperatur : 187,76 °C Enthalpy : 2837,41 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 18	Tekanan : 0,237 MPa Temperatur : 125,7 °C Enthalpy : 2683 kJ/kg	Tekanan : 0,12 MPa Temperatur : 126,39 °C Enthalpy : 2727,6 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 19	Tekanan : 0,103 MPa Temperatur : 100,4 °C Enthalpy : 2566 kJ/kg	Tekanan : 0,101 MPa Temperatur : 96,29 °C Enthalpy : 2474,04 kJ/kg
Ekstrasi uap titik 20	Tekanan : 0,032 MPa Temperatur : 70,6 °C Enthalpy : 2421 kJ/kg	Tekanan : 0,030 MPa Temperatur : 65,88 °C Enthalpy : 2279,53 kJ/kg
Daya Output turbin	100 MW	96,47 MW
Efisiensi Thermal	39,17%	36,31%

Penurunan kinerja sistem PLTU Punagayya, khususnya pada daya turbin dan efisiensi termal, dapat dijelaskan secara termodinamik melalui perubahan kondisi kerja fluida kerja uap. Penurunan tekanan dan temperatur pada uap utama (*main steam*) menurunkan nilai entalpi spesifik, sehingga energi yang tersedia untuk dikonversi menjadi kerja mekanik selama proses ekspansi isentropik dalam turbin berkurang secara signifikan. Selain itu, peningkatan tekanan kondensor menyebabkan penurunan laju perpindahan panas, sehingga proses kondensasi tidak optimal dan mengurangi selisih entalpi antara inlet dan outlet turbin. Kedua fenomena ini menurunkan kerja bersih yang dihasilkan, dan secara langsung memengaruhi efisiensi termal siklus Rankine. Berdasarkan teori siklus Rankine dan hukum I termodinamika, perubahan kecil pada kondisi tekanan dan temperatur dapat menyebabkan pergeseran signifikan pada titik-titik siklus di diagram T-s dan h-s yang berdampak negatif terhadap efisiensi sistem [11].

Selain itu, hasil pengukuran pada titik-titik ekstraksi uap menunjukkan adanya anomali berupa penurunan tekanan tanpa diikuti oleh penurunan temperatur, yang mengindikasikan proses ekspansi tidak ideal di dalam turbin. Hal ini berpotensi disebabkan oleh degradasi sudu turbin, *fouling*, atau kebocoran internal, yang pada akhirnya meningkatkan entropi sistem dan menurunkan efisiensi konversi energi.

Penurunan daya turbin dari 100 MW menjadi 96,47 MW serta efisiensi termal dari 39,17% menjadi 36,31% merupakan indikator penurunan performa sistem akibat peningkatan irreversibilitas dan ketidakseimbangan termal. Kondisi ini berimplikasi pada meningkatnya konsumsi bahan bakar spesifik serta emisi, sehingga diperlukan langkah korektif berupa optimalisasi operasi sistem, peningkatan efisiensi pemanas air umpan (*feedwater heater*), dan perawatan berkala pada komponen turbin untuk mengembalikan performa mendekati kondisi desain [12, 13].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja termodinamika sistem PLTU Punagayya, ditemukan bahwa telah terjadi penurunan daya turbin dan efisiensi termal dari kondisi desain awal. Penurunan tekanan dan temperatur uap utama menyebabkan penurunan entalpi masuk ke turbin, yang berdampak langsung terhadap menurunnya daya keluaran turbin. Peningkatan tekanan pada kondensor juga menurunkan efektivitas proses kondensasi, sehingga mengurangi selisih entalpi turbin dan menurunkan kerja bersih sistem. Selain itu, hasil pengukuran pada titik-titik ekstraksi menunjukkan indikasi ekspansi uap yang tidak ideal, yang mengindikasikan adanya degradasi kinerja turbin. Secara keseluruhan, daya keluaran turbin mengalami penurunan dari 100 MW menjadi 96,47 MW, dan efisiensi termal turun dari 39,17% menjadi 36,31%. Penurunan ini mencerminkan terjadinya peningkatan irreversibilitas sistem akibat perubahan kondisi operasi dan degradasi komponen, yang jika tidak segera ditangani dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan menurunkan efisiensi ekonomi pembangkitan. Oleh karena itu, perawatan sistem turbin secara berkala, optimalisasi pemanas air umpan, serta penerapan pemantauan efisiensi berbasis data real-time direkomendasikan sebagai strategi perbaikan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Universitas Muslim Indonesia, Kementerian Ketenagakerjaan RI, BPVP Bantaeng, Orangtua, Istri, dan anak tercinta yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis agar dapat menyelesaikan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] I. W. Joniarta, R. R. A. Buhori and M. Wijana, "Analisis Efisiensi Boiler CFB Unit 3 Menggunakan Metode Langsung Di PT. PLN Indonesia Power Omu Jeranjang," *Jurnal Energy, Material, and Product Design*, pp. 156-162, 2024.
- [2] Sunaryo, "Analisis Boiler Subcritical Dan Supercritical Berbasis Algoritma Genetika," *Thesis Universitas Islam Sultan Agung Semarang*, 2020.
- [3] Hairun and Mahmuddin, "Studi Termodinamika Pengaruh Hidden Capacity Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Pemodelan GateCycle," *INNOVATIVE : Journal Of Social Science Research*, pp. 4907-4918, 2024.
- [4] As'ad and Mahmuddin, "Analisis Peningkatan Kebutuhan Udara Secondary Terhadap Kinerja Boiler Dan Turbine Pada PLTU Moramo," *Jurnal Teknik Mesin*, 2022.
- [5] Risal and Mahmuddin, "Evaluasi Daya Sistem Pltu Kendari 3 Dengan Metode Economic Dispatch," *Jurnal Teknik Mesin*, 2023.
- [6] Husni and Mahmuddin, "Analisis Kinerja Boiler Dan Turbin Uap Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Unit 2 PT. Semen Tonasa," *Jurnal Teknik Mesin*, pp. 34-41, 2023.
- [7] M. I. Muis and Elvi, "Evaluasi Kinerja Boiler Unit 1 PLTU Jeneponto," *Politeknik Negeri Ujung Pandang*, Makassar, 2019.

- [8] S. H. Sya'diah, S. Wuryanti and A. A. Melkias, "Analisis Pengaruh Perubahan Tekanan Vakum Kondensor Terhadap Performa Turbin Uap," in *Prosiding the 15th Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, 2024.
- [9] A. Maulida, "Analisis Pengaruh Tube Plugging dan Fouling Terhadap Performa Kondensor Unit 1 di PLTU Ombilin," Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, 2022.
- [10] P. K. Nag, *Power Plant Engineering* 3th Edition, New Delhi: The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [11] M. J. Moran and H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* 7th Edition, John Wiley & Sons, Inc., 2011.
- [12] A. F. Fajar, "The Effect Of Feed Water Heater To Efficiency Of Generating System 410 MW," *Final Project (Conservation of Energy)*, 2014.
- [13] Y. A. Cengel and M. A. Boles, *Thermodynamics: An Engineering Approach* 8th Edition, McGraw-Hill, 2015.