

## Evaluasi Kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-5 Berdasarkan Analisis *Net Plant Heat Rate* Menggunakan *Direct Method*

Tommy Andreas<sup>1</sup>, Vivi Apriyanti<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Jambi

\*Corresponding author, e-mail: [viviapriyanti@stiteknas.ac.id](mailto:viviapriyanti@stiteknas.ac.id)

### ABSTRACT

*Coal-fired power plant remain a major source of electricity generation in Indonesia; therefore, evaluating their operational performance is essential to ensure efficiency and reliability. This study aims to analyze the performance of Unit 1 at the Sumsel-5 Power Plant using the Net Plant Heat Rate (NPHR) approach and thermal efficiency evaluation based on the direct method. The analysis was conducted using actual operational data, including fuel consumption, calorific value, gross and net electrical output, and plant load conditions. The results indicate that the NPHR values range from 2612.969 to 2778.564 kcal/kWh, with corresponding thermal efficiency values between 30.94% and 32.90%. The highest efficiency was achieved at a load of 159 MW, while the lowest efficiency occurred at 119 MW. These results demonstrate that an increase in load leads to improved thermal efficiency due to reduced relative energy losses and more effective utilization of input energy. Overall, the findings confirm that the performance of Unit 1 at PLTU Sumsel-5 operates within a normal and acceptable efficiency range for a subcritical coal-fired power plant. The study provides useful insight for evaluating plant performance and supports efforts to optimize operational efficiency.*

*Keyword: PLTU, Net Plant Heat Rate, Efficiency, Direct Method*

### ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) masih menjadi tulang punggung penyediaan energi listrik di Indonesia, sehingga evaluasi kinerja operasionalnya menjadi aspek penting untuk menjamin efisiensi dan keandalan sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-5 Bayung Lencir berdasarkan nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) dan efisiensi termal menggunakan metode langsung. Metode ini menghitung kinerja pembangkit berdasarkan perbandingan antara energi panas dari bahan bakar dengan energi listrik bersih yang dihasilkan. Data yang digunakan merupakan data operasional aktual selama periode pengamatan, meliputi konsumsi bahan bakar, nilai kalor, daya listrik bruto dan netto, serta beban pembangkit. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai NPHR berada pada rentang 2.612,969–2.778,564 kcal/kWh dengan efisiensi termal berkisar antara 30,94% hingga 32,90%. Nilai efisiensi tertinggi diperoleh pada beban 159 MW, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada beban 119 MW. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan beban operasi berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi pembangkit. Secara keseluruhan, nilai efisiensi yang diperoleh masih berada dalam kisaran normal untuk PLTU subkritis dan menunjukkan bahwa kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-5 berada dalam kondisi operasional yang baik. Temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam evaluasi dan peningkatan efisiensi operasional pembangkit listrik tenaga uap.

Kata kunci: PLTU, *Net Plant Heat Rate*, Efisiensi, Metode Langsung

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, industrialisasi, dan perkembangan sektor ekonomi nasional. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar

batubara masih menjadi tulang punggung sistem kelistrikan nasional karena ketersediaan sumber daya yang melimpah dan biaya pembangkitan yang relatif rendah dibandingkan sumber energi lainnya [1]. Namun demikian, tantangan utama pada pengoperasian PLTU adalah efisiensi termal

yang belum optimal serta tingginya konsumsi bahan bakar yang berdampak pada biaya operasi dan emisi lingkungan [2].

Salah satu parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja termal pembangkit listrik tenaga uap adalah *Net Plant Heat Rate* (NPHR). NPHR menggambarkan jumlah energi panas dari bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik bersih yang dikirim ke jaringan. Semakin rendah nilai NPHR, maka semakin tinggi efisiensi pembangkit tersebut [3]. Oleh karena itu, analisis NPHR menjadi indikator penting dalam menilai performa aktual pembangkit serta efektivitas pengelolaan energi secara keseluruhan. Dalam praktik operasional, kinerja PLTU sangat dipengaruhi oleh kondisi peralatan utama seperti boiler, turbin uap, kondensor, dan sistem bantu lainnya. Penurunan efisiensi pada salah satu subsistem dapat menyebabkan peningkatan heat rate secara signifikan [4]. Selain itu, faktor usia peralatan, kualitas bahan bakar, kondisi beban parsial (*partial load*), serta degradasi komponen akibat engotoran termal turut berkontribusi terhadap penurunan performa pembangkit [5].

*Direct method* merupakan salah satu pendekatan yang umum digunakan dalam perhitungan heat rate karena berbasis pada pengukuran langsung input energi bahan bakar dan output energi listrik yang dihasilkan. Metode ini relatif sederhana, mudah diaplikasikan di lapangan, dan banyak digunakan dalam evaluasi performa PLTU secara operasional [6]. Melalui pendekatan ini, efisiensi pembangkit dapat dianalisis secara kuantitatif berdasarkan data aktual operasi tanpa memerlukan perhitungan termodinamika yang kompleks.

PLTU Sumsel-5 Bayung Lencir merupakan salah satu pembangkit listrik berbahan bakar batubara yang berperan penting dalam mendukung sistem kelistrikan Sumatera bagian Selatan. Seiring dengan berjalannya waktu operasi, diperlukan evaluasi kinerja pembangkit secara periodik untuk memastikan bahwa unit beroperasi pada kondisi optimal dan sesuai dengan standar desainnya [7].

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-

5 Bayung Lencir melalui perhitungan *Net Plant Heat Rate* menggunakan metode langsung. Hasil analisis diharapkan dapat memberikan gambaran tingkat efisiensi aktual pembangkit serta menjadi dasar rekomendasi perbaikan operasional guna meningkatkan performa dan keandalan sistem pembangkitan [8].

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan analisis kinerja operasional pembangkit. Metode yang digunakan adalah metode langsung (langsung) untuk menghitung nilai *Net Plant Heat Rate* (NPHR) berdasarkan data aktual operasi unit pembangkit. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran nyata mengenai efisiensi termal pembangkit berdasarkan kondisi operasional aktual di lapangan.

Pengambilan data produksi energi listrik menggunakan energi meter (kWh meter) yang terpasang di unit, meliputi energi gross (bruto) serta produksi netto. Pemakaian energi gross dicatat pada komputer *Central Control Room* (CCR), sedangkan konsumsi energi untuk pemakaian sendiri dicatat dari kWh meter trafo UAT (*Unit Auxiliary Transformer*), pemakaian energi untuk peralatan Common seperti *Coal & Ash Handling System* dan *Water Treatment Plant* dicatat dari kWh meter trafo SST (*Station Service Transformer*). Pengukuran pemakaian bahan bakar diperoleh dari pencatatan *totalizer counter* pada semua *coal feeder* yang beroperasi. Tabel 1 memperlihatkan rincian data operasional di Unit 1 PLTU Sumsel-5.

Tabel 1. Data Operasional Unit 1 PLTU Sumsel-5

Beban rata-rata per jam (MW)	Pemakaian bahan bakar (kg)	HHV (kkal/kg)	Produksi Bruto (kWh)	Produksi Netto (kWh)
159	2921014	3418	3820950	3352230
118	2267878	3341	2835000	2404710
143	2744392	3388	3455550	3010770
144	2677820	3435	3468150	3058650
119	2325156	3433	2872800	2487870
122	2344604	3411	2951550	2581740
138	2637052	3425	3323250	2923830

### ***Specific Fuel Consumption (SFC)***

Konsumsi bahan bakar spesifik merupakan parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomi suatu mesin. Dengan parameter ini maka jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu dapat dihitung dengan berdasarkan SPLN No. 80 tahun 1989. Berikut persamaan yang digunakan untuk menghitung konsumsi spesifik bahan bakar adalah :

#### **1. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Bruto ( $SFC_B$ )**

Konsumsi spesifik pemakaian bahan bakar dengan mengukur jumlah bahan bakar yang dipakai dibagi dengan jumlah kWh yang dibangkitkan generator. Dengan demikian formula pemakaian bahan bakar spesifik bruto dapat ditulis sebagai berikut :

$$SFC_B = \frac{Q_f}{kW_{hB}} \quad (1)$$

dimana :

- $SFC_B$  : *Specific Fuel Consumption Bruto* (kg/kWh)
- $Q_f$  : Bahan bakar yang dipakai (kg)
- $kW_{hB}$  : Energi listrik yang dibangkitkan generator (kWh)

#### **2. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik Netto ( $SFC_N$ )**

Konsumsi pemakaian bahan bakar dengan mengukur jumlah bahan bakar yang dipakai dibagi dengan selisih jumlah kWh yang dibangkitkan generator dikurangi jumlah kWh yang dibutuhkan untuk pemakaian sendiri. Dengan demikian formula pemakaian bahan bakar spesifik netto dapat ditulis sebagai berikut :

$$SFC_N = \frac{Q_f}{kW_{hN}} \quad (2)$$

dimana :

- $SFC_N$  : *Specific Fuel Consumption Netto* (kg/kWh)
- $Q_f$  : Bahan bakar yang dipakai (kg)
- $kW_{hN}$  : Energi listrik setelah dikurangi pemakaian sendiri (kWh)

### ***Heat Rate***

*Heat rate* merupakan perbandingan antara jumlah energi yang diberikan kepada suatu sistem dan hasil yang diperoleh

dari sistem tersebut dalam suatu periode tertentu. Pada PLTU, *heat rate* dapat berupa *heat rate* untuk turbin generator atau *heat rate* untuk unit. Salah satu cara menilai kinerja PLTU secara keseluruhan adalah dengan menghitung berapa *heat rate* PLTU tersebut. *Heat rate* dapat juga didefinisikan sebagai banyaknya panas yang diperlukan untuk membangkitkan satu kWh listrik. *Heat rate* diperoleh dengan cara membagi konsumsi panas per jam dengan *output* energi listrik dalam satu jam. Karena itu *heat rate* dinyatakan dalam satuan KJ/kWh, BTU/kWh atau kcal/kWh.

Secara umum dikenal dua macam *heat rate* yaitu *Heat rate* bruto dan *Heat rate* netto. Pada *heat rate* bruto, maka *output* energi listrik yang diukur adalah energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Sedangkan untuk *heat rate* netto, energi listrik yang diukur adalah energi listrik yang dihasilkan generator dikurangi energi listrik yang dipakai untuk menggerakkan alat-alat bantu PLTU (energi listrik yang dibangkitkan generator – pemakaian sendiri) dan juga ditambah dengan losses trafo.

#### **1. *Heat Rate* Bruto ( $HR_B$ )**

*Heat rate* unit bruto ( $HR_B$ ) adalah jumlah kalor bahan bakar dihitung berdasarkan nilai kalor (HHV) untuk menghasilkan setiap kWh bruto. Dengan demikian formula *heat rate* bruto dapat ditulis sebagai berikut :

$$HR_B = \frac{Q_f \times HHV}{kW_{hB}} \quad (3)$$

dimana :

- $HR_B$  : *Heat Rate Bruto* (kcal/kWh)
- HHV : Nilai kalori atas bahan bakar yang digunakan (kcal/kg)

#### **2. *Heat Rate* Netto ( $HR_N$ )**

*Heat rate* unit netto ( $HR_N$ ) adalah jumlah kalor bahan bakar yang dihitung berdasarkan nilai kalor (HHV) untuk menghasilkan setiap kWh netto. Dengan demikian formula *heat rate* netto dapat ditulis sebagai berikut :

$$HR_N = \frac{Q_f \times HHV}{kW_{hN}} \quad (4)$$

dimana :

- $HR_N$  : Heat Rate Netto (kcal/kWh)
- HHV : Nilai kalori atas bahan bakar yang digunakan (kcal/kg)

### Efisiensi Termal

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi yang dihasilkan dengan energi dimasukkan dalam suatu sistem dalam periode yang ditentukan. Besarnya efisiensi termal tergantung pada beban, semakin tinggi beban maka semakin besar efisiensinya. Efisiensi termal unit ( $\eta_{th}$ ) adalah persentase keluaran energi terhadap masukan kalor. Formula efisiensi termal dapat ditulis sebagai berikut :

$$\eta_{th} = \frac{859,845}{HR} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana :

- 1 kWh = 859,845 kcal

### HASIL DAN PEMBAHASAN

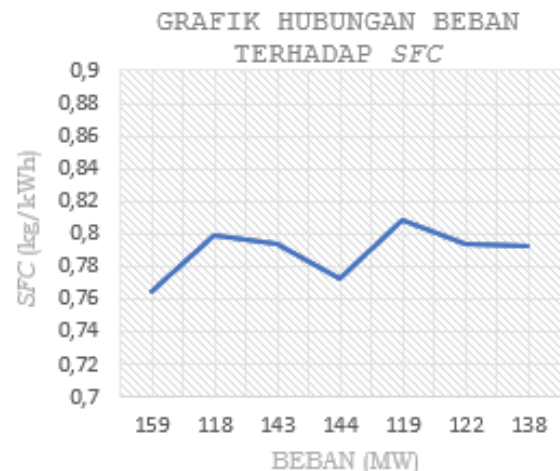
Berdasarkan persamaan yang digunakan pada metode langsung diperoleh hasil perhitungan SFC, HR dan efisiensi termal seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Spesific Fuel Consumption (SFC), Heat Rate (HR) dan Efisiensi ( $\eta$ )

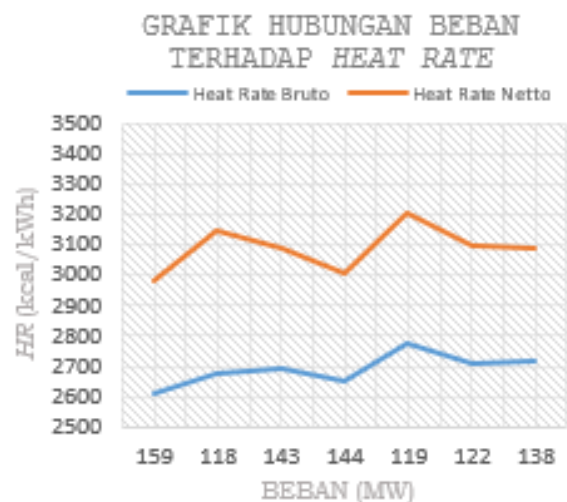
Beban rata-rata per jam (MW)	SFC <sub>B</sub> (kg/kWh)	HR <sub>B</sub> (kg/kWh)	HR <sub>N</sub> (kcal/kWh)	$\eta$ (%)
159	0,764	2612,969	2978,323	32,90
118	0,799	2672,656	3150,891	32,17
143	0,794	2690,743	3088,246	31,95
144	0,772	2652,224	3007,310	32,41
119	0,809	2778,564	3208,471	30,94
122	0,794	2709,574	3097,695	31,73
138	0,793	2717,792	3089,065	31,63

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC), *Heat Rate* (HR), dan efisiensi termal pada Unit 1 PLTU Sumsel-5 sangat dipengaruhi oleh variasi beban operasi. Pada beban tertinggi sebesar 159 MW, nilai SFC tercatat paling rendah yaitu 0,764 kg/kWh, sedangkan pada beban terendah 119 MW nilai SFC meningkat menjadi 0,809 kg/kWh. Hal ini mengindikasikan

bahwa peningkatan beban menghasilkan pemanfaatan energi bahan bakar yang lebih efisien, karena porsi energi hilang (*losses*) relatif lebih kecil dibandingkan dengan energi yang dikonversi menjadi daya listrik. Kecenderungan tersebut sejalan dengan karakteristik operasi pembangkit termal, di mana pada beban rendah sebagian besar energi panas masih dikonsumsi untuk mempertahankan proses pembakaran, aliran fluida kerja, serta kebutuhan sistem bantu. Akibatnya, meskipun konsumsi bahan bakar menurun secara absolut, rasio konsumsi bahan bakar terhadap energi listrik yang dihasilkan justru meningkat. Hal ini menjelaskan mengapa nilai SFC dan *heat rate* meningkat pada kondisi beban rendah seperti terlihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.



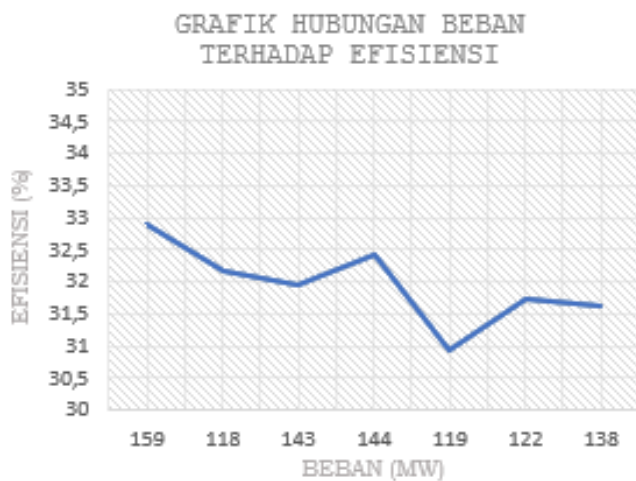
Gambar 1. Grafik hubungan beban terhadap beban



Gambar 2. Grafik hubungan beban terhadap heat rate

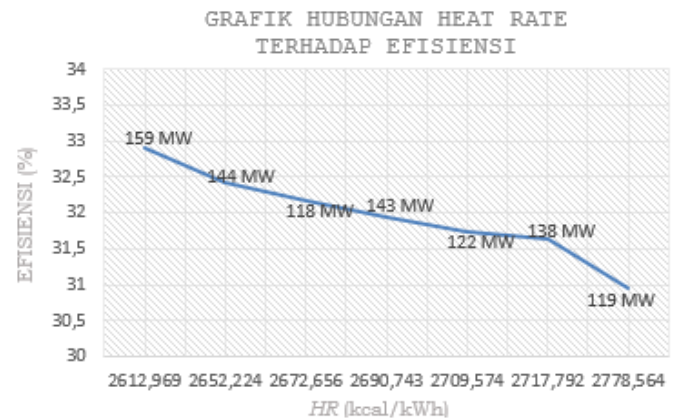


Analisis nilai heat rate menunjukkan bahwa performa terbaik unit dicapai pada beban 159 MW dengan nilai heat rate sebesar 2612,969 kcal/kWh, sedangkan nilai tertinggi sebesar 2778,564 kcal/kWh terjadi pada beban 119 MW. Penurunan heat rate pada beban tinggi mengindikasikan bahwa sistem pembakaran, perpindahan panas, dan konversi energi bekerja lebih efektif ketika unit mendekati kondisi operasi desain. Sebaliknya, pada beban rendah terjadi peningkatan kehilangan panas melalui gas buang, dinding boiler, serta sistem bantu yang menyebabkan efisiensi termal menurun. Gambar 3 memperlihatkan hubungan beban terhadap efisiensi termal pembangkit.



Gambar 3. Grafik hubungan beban terhadap efisiensi termal pembangkit

Hubungan antara *heat rate* dan efisiensi ditunjukkan pada Gambar 4. Korelasi terbalik yang kuat diperoleh, di mana semakin besar nilai *heat rate* maka efisiensi pembangkit semakin menurun. Efisiensi tertinggi yang dicapai sebesar 32,90% terjadi pada kondisi beban 159 MW, sedangkan efisiensi terendah sebesar 30,94% terjadi pada beban 119 MW. Pola ini menegaskan bahwa pengoperasian pembangkit di bawah beban optimum tidak menguntungkan dari sisi konsumsi energi dan biaya operasional.



Gambar 4. Grafik hubungan beban terhadap efisiensi termal pembangkit

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa kinerja termal PLTU Sumsel-5 sangat dipengaruhi oleh variasi beban operasi. Pengoperasian unit mendekati beban nominal akan menghasilkan kinerja yang lebih optimal, ditandai dengan nilai heat rate yang lebih rendah dan efisiensi yang lebih tinggi. Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, nilai efisiensi termal Unit 1 PLTU Sumsel-5 berada pada rentang 30,94% hingga 32,90%, dengan efisiensi tertinggi dicapai pada kondisi beban 159 MW dan efisiensi terendah pada beban 119 MW. Nilai ini menunjukkan bahwa dari seluruh energi panas yang dilepaskan oleh bahan bakar, sekitar sepertiganya berhasil dikonversi menjadi energi listrik, sedangkan sisanya hilang dalam bentuk rugi-rugi termal seperti gas buang, kehilangan panas pada dinding boiler, serta losses pada sistem turbin dan kondensor.

Secara teknis, nilai efisiensi tersebut masih berada dalam kisaran normal dan wajar untuk pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) tipe subcritical. Efisiensi termal pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) tipe subcritical umumnya berada pada kisaran 30–35%, tergantung pada desain pembangkit, kualitas bahan bakar, serta kondisi operasional yang diterapkan [9–11]. Dengan demikian, capaian efisiensi pada penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-5 masih berada dalam kondisi operasional yang layak dan tidak menunjukkan indikasi penurunan performa yang signifikan.

Peningkatan efisiensi yang terjadi pada beban yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sistem bekerja lebih mendekati titik operasi optimalnya. Pada kondisi ini, kerugian energi akibat konsumsi daya bantu, kehilangan panas, serta inefisiensi proses pembakaran menjadi relatif lebih kecil dibandingkan dengan energi listrik yang dihasilkan. Sebaliknya, pada beban rendah, kontribusi losses menjadi lebih dominan sehingga efisiensi total menurun meskipun konsumsi bahan bakar absolut lebih kecil.

Hasil ini mengindikasikan bahwa pengoperasian pembangkit pada beban yang mendekati kapasitas rancangannya merupakan strategi yang lebih efisien secara termal. Selain itu, nilai efisiensi yang diperoleh juga mencerminkan bahwa sistem pembakaran, perpindahan panas, dan konversi energi pada PLTU Sumsel-5 masih bekerja dalam kondisi yang dapat diterima secara teknis. Namun demikian, masih terdapat peluang peningkatan efisiensi melalui optimalisasi pembakaran, pengurangan *excess air*, perbaikan kinerja peralatan bantu, serta pengendalian kualitas bahan bakar.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-5 Bayung Lencir berada pada kondisi operasional yang baik dan masih sesuai dengan karakteristik pembangkit berbahan bakar batubara tipe subkritis. Nilai Net Plant Heat Rate yang diperoleh berada pada kisaran 2612,969–2778,564 kcal/kWh dengan efisiensi termal antara 30,94% hingga 32,90%, yang menunjukkan bahwa proses konversi energi panas menjadi energi listrik berlangsung secara efektif. Variasi nilai efisiensi tersebut dipengaruhi oleh perubahan beban operasi, di mana peningkatan beban cenderung meningkatkan efisiensi dan menurunkan heat rate akibat berkurangnya rugi-rugi energi relatif terhadap daya keluaran. Hasil ini menegaskan bahwa pengoperasian pembangkit mendekati beban nominal memberikan kinerja termal yang lebih optimal. Secara keseluruhan, kinerja Unit 1 PLTU Sumsel-5 dapat dinyatakan masih berada dalam kondisi baik dan sesuai dengan standar operasional pembangkit listrik tenaga uap, serta memiliki potensi untuk

ditingkatkan melalui pengendalian operasi dan optimalisasi sistem pembakaran.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada pihak manajemen dan seluruh jajaran PLTU Sumsel-5 Bayung Lencir atas dukungan serta fasilitas yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para pembimbing dan seluruh pihak yang telah memberikan arahan, masukan, serta kontribusi ilmiah sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), *Statistik Ketenagalistrikan Indonesia*, Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Jakarta, 2023.
- [2] Saidur, R., Ahamed, J. U., & Masjuki, H. H., "Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers," *Energy Policy*, vol. 38, no. 5, pp. 2188–2197, 2010.
- [3] Babcock & Wilcox, *Steam: Its Generation and Use*, 42nd ed., Ohio: Babcock & Wilcox Company, 2015.
- [4] Sarkar, S., Bhattacharyya, S., & Bhattacharya, A., "Performance analysis of coal fired thermal power plant based on energy and exergy," *International Journal of Energy Research*, vol. 41, no. 4, pp. 498–512, 2017.
- [5] Kumar, S., & Kumar, R., "Performance analysis of coal-fired power plant using energy and exergy analysis," *International Journal of Thermodynamics*, vol. 22, no. 1, pp. 1–10, 2019.
- [6] Kehlhofer, R., Rukes, B., Hannemann, F., & Stirnimann, F., *Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants*, 3rd ed., PennWell Corporation, Tulsa, 2009.

- [7] PT PLN (Persero), *Pedoman Evaluasi Kinerja Pembangkit Tenaga Listrik*, Jakarta: PLN Pusat, 2021.
- [8] Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B., *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 8th ed., Wiley, New York, 2018.
- [9] Babcock & Wilcox, *Steam: Its Generation and Use*, 42nd ed., Ohio: Babcock & Wilcox Company, 2015.
- [10] Kehlhofer, R., Rukes, B., Hannemann, F., & Stirnimann, F., *Combined-Cycle Gas & Steam Turbine Power Plants*, 3rd ed., Tulsa: PennWell Corporation, 2009.
- [11] Suresh, M. V. J. J., & Reddy, K. S., "Thermodynamic analysis of coal-fired power plants," *International Journal of Energy Research*, vol. 36, no. 6, pp. 692–703, 2012.