



Pengaruh Beban Operasi terhadap Nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap

Herlin Sumarna¹, Tri Satya Ramadhoni², Gurruh Dwi Septano³, Purfaji⁴, Toni Okviyanto⁵

^{1,2,4,5}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik PGRI, Banten

Email: ¹herlin.sumarna@polsri.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the effect of variations in operating load on the Net Plant Heat Rate (NPHR) at a 3×10 MW coal-fired power plant. The independent variables examined are the generator operating loads at 50%, 75%, and 100%, while the dependent variable is the NPHR value. The research data consists of 30 samples distributed proportionally across each load level. Data analysis was performed using a one-way Analysis of Variance (ANOVA) to test the significance of differences in the mean NPHR values across the operating load variations. The results indicate that variations in operating load significantly affect the NPHR value (p -value < 0.05). The highest average NPHR value was obtained at 50% load at 4160 kcal/kWh, then decreased at 75% load to 3861 kcal/kWh, and reached the lowest value at 100% load at 3625 kcal/kWh. These results indicate that an increase in operating load correlates with a decrease in the NPHR value and an increase in the plant's thermal efficiency. Thus, operating the coal-fired power plant under conditions approaching optimal design capacity can improve fuel efficiency and support the optimization of the plant's operational performance.

Keywords: NPHR, ANOVA, PLTU, Efficiency.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beban operasi terhadap nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berkapasitas 3×10 MW. Variabel bebas yang dikaji adalah beban operasi generator pada tingkat 50%, 75%, dan 100%, sedangkan variabel terikatnya adalah nilai NPHR. Data penelitian terdiri dari 30 sampel yang terbagi secara proporsional pada masing-masing tingkat beban. Analisis data dilakukan menggunakan metode statistik Analysis of Variance (ANOVA) satu arah untuk menguji signifikansi perbedaan rata-rata NPHR antar variasi beban operasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi beban operasi berpengaruh signifikan terhadap nilai NPHR (p -value < 0,05). Nilai rata-rata NPHR tertinggi diperoleh pada beban 50% sebesar 4160 kcal/kWh, kemudian menurun pada beban 75% sebesar 3861 kcal/kWh, dan mencapai nilai terendah pada beban 100% sebesar 3625 kcal/kWh. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan beban operasi berkorelasi dengan penurunan nilai NPHR serta peningkatan efisiensi termal pembangkit. Dengan demikian, pengoperasian PLTU pada kondisi mendekati kapasitas desain optimal dapat meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dan mendukung optimalisasi kinerja operasional pembangkit.

Kata Kunci: NPHR, ANOVA, PLTU, Efisiensi.

1. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik yang andal dan efisien merupakan hal krusial dalam sistem ketenagalistrikan modern, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia yang masih mengandalkan pembangkit berbasis bahan bakar fosil dalam porsi besar (Migisha et al., 2023). Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit yang dominan digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban puncak dan beban dasar listrik nasional karena kemampuan kapasitasnya yang besar serta biaya

per kWh yang kompetitif dibandingkan dengan beberapa alternatif pembangkit lainnya (Sumarna et al., 2024). Efisiensi operasional PLTU secara langsung berkaitan dengan parameter-parameter teknis seperti konsumsi bahan bakar, nilai kalor batubara, serta variasi beban operasi yang diterapkan selama pengoperasian harian (Putra & Nazir, 2023; Maulana & Mursadin, 2025).

Dalam konteks evaluasi kinerja termal pembangkit, Net Plant Heat Rate (NPHR) merupakan salah satu indikator penting yang digunakan untuk mengukur efisiensi konversi energi panas menjadi energi listrik bersih (Nisa & Nugraha, 2025). NPHR menyatakan jumlah energi panas dari bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit energi listrik netto, dan nilai yang lebih rendah menunjukkan efisiensi pembangkit yang lebih tinggi serta konsumsi bahan bakar yang lebih efektif (Narwastu & Zarma Putra, 2024). Berbagai studi menunjukkan bahwa nilai NPHR sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi dan beban generator. Dalam penelitian di PLTU Jeneponto 2, ditemukan bahwa peningkatan beban operasi secara signifikan menyebabkan penurunan NPHR, yang mengindikasikan peningkatan performa pembangkit dari sisi efisiensi pembakaran dan pemanfaatan energi panas (Hamzah et al., 2021).

Penelitian serupa di PLTU Cilacap juga menunjukkan bahwa variasi beban operasi tidak hanya mempengaruhi heat rate, tetapi juga efisiensi termal turbin serta konsumsi bahan bakar per unit daya yang dihasilkan (Febrianto et al., 2025). Fenomena hubungan antara beban operasi dan efisiensi pembangkit tidak hanya dibahas dalam konteks nasional. Secara internasional, sejumlah studi melakukan analisis performa pembangkit tenaga uap berdasarkan variasi beban generator. Misalnya, analisis performa pembangkit batubara di Unit 1 PLTU Ombilin menunjukkan bahwa kondisi beban yang lebih tinggi berasosiasi dengan peningkatan efisiensi termal dan penurunan nilai heat rate, sejalan dengan karakteristik ideal dari siklus termodinamika pembangkit (Putra & Nazir, 2023).

Salah satu indikator yang umum digunakan untuk mengevaluasi kinerja termal pembangkit listrik adalah Net Plant Heat Rate (NPHR). Parameter ini menunjukkan jumlah energi panas yang diperlukan oleh pembangkit untuk menghasilkan satu satuan energi listrik bersih. Zhou et al. (2021) menunjukkan bahwa variasi beban memiliki pengaruh non-linear terhadap heat rate pada pembangkit skala besar (>300 MW), terutama akibat perubahan efisiensi boiler dan turbin pada kondisi parsial load. Liu et al. (2024) juga mengungkapkan bahwa optimalisasi operasi pada beban parsial dapat menurunkan heat rate hingga 3–5% melalui pengaturan parameter pembakaran dan distribusi udara. Selain itu, studi oleh Kocak dan Durmusoglu (2023) menunjukkan bahwa pembangkit skala besar cenderung memiliki karakteristik efisiensi yang stabil pada beban tinggi, namun mengalami degradasi signifikan pada beban rendah akibat losses pada sistem bantu. Oleh karena itu, analisis terhadap parameter heat rate menjadi sangat penting dalam evaluasi performa pembangkit listrik tenaga uap, terutama dalam rangka meningkatkan efisiensi operasional dan menurunkan konsumsi bahan bakar (Liu et al., 2024; Wahyudi & Kusuma, 2023; Ariyandi et al., 2024).

Meskipun berbagai penelitian global telah dilakukan, sebagian besar studi tersebut berfokus pada pembangkit berkapasitas besar (≥ 100 MW), sementara kajian pada pembangkit skala kecil hingga menengah, khususnya unit PLTU 3×10 MW, masih relatif terbatas. Padahal, unit dengan kapasitas kecil memiliki karakteristik operasional yang berbeda, seperti fleksibilitas beban yang lebih tinggi, efisiensi parsial load yang lebih fluktuatif, serta sensitivitas yang lebih besar terhadap kualitas bahan bakar dan kondisi operasi. Hal ini menunjukkan adanya kesenjangan terkait pemahaman hubungan antara variasi beban dan NPHR pada pembangkit skala kecil yang banyak digunakan di sistem kelistrikan daerah atau isolated grid di Indonesia.

Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya melakukan analisis deskriptif terhadap hubungan antara beban operasi dan heat rate tanpa menguji signifikansi statistik dari perbedaan yang terjadi. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan penerapan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) sebagai alat analisis statistik untuk mengevaluasi secara kuantitatif apakah variasi beban operasi (50%, 75%, dan 100%) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai NPHR. Pendekatan ini memberikan validasi ilmiah yang lebih kuat dibandingkan analisis konvensional, serta memungkinkan pengambilan keputusan operasional berbasis data yang lebih akurat (Montgomery, 2019; Setyawan & Sudiarto, 2024).

Selain faktor beban, kualitas bahan bakar juga turut mempengaruhi efisiensi pembangkit. Kualitas pasokan batubara, termasuk kandungan kelembaban, abu, dan nilai kalor, mempunyai hubungan terbalik dengan nilai NPHR; batubara dengan kualitas lebih baik cenderung menurunkan nilai NPHR (Narwastu & Zarma Putra, 2024). Dalam praktiknya, fluktuasi beban akibat perubahan permintaan listrik menyebabkan variasi konsumsi bahan bakar spesifik, sehingga pengoperasian pembangkit harus mempertimbangkan keseimbangan antara permintaan beban, efisiensi, dan penggunaan sumber daya (Alkahfi Samanglangi et al., 2024; Ilham & Aksar, 2021).

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh variasi beban operasi terhadap nilai NPHR pada unit PLTU 3×10 MW menggunakan metode ANOVA. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan strategi optimasi operasi pembangkit skala kecil, serta memperkaya literatur terkait analisis performa termal pembangkit listrik berbasis data statistik yang lebih robust.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental berbasis analisis statistik untuk mengevaluasi pengaruh variasi beban operasi terhadap nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) pada unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berkapasitas 3×10 MW. Penelitian ini mengacu pada penelitian sebelumnya oleh Saputro et al (2022) dimana variabel bebas adalah variasi beban operasi generator yang terdiri dari tiga tingkat beban yaitu 50%, 75%, dan 100%, sedangkan variabel terikat adalah nilai NPHR yang dihasilkan oleh sistem pembangkitan. Untuk mengetahui apakah variasi beban operasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai NPHR, penelitian ini menggunakan metode statistik *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah. Metode ini digunakan untuk membandingkan rata-rata nilai NPHR pada beberapa kelompok beban operasi yang berbeda. Saputro,

2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian adalah unit pembangkit listrik tenaga uap dengan kapasitas terpasang 3×10 MW yang menggunakan bahan bakar Batubara Subbituminus. Sistem pembangkitan listrik pada PLTU ini bekerja berdasarkan prinsip *Rankine Cycle*, dimana energi panas dari pembakaran batubara digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang kemudian menggerakkan turbin uap yang terhubung dengan generator listrik. Data operasional yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Beban operasi generator (%)
- b. Daya listrik yang dihasilkan (kWh)
- c. Nilai kalor batubara (kcal/kg)
- d. Heat input boiler (kcal/jam)
- e. Nilai Net Plant Heat Rate (kcal/kWh)

Nilai kalor batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah 5036 kcal/kg yang dihasilkan dari pengukuran *Bomb Calorimeter*, sedangkan nilai heat input boiler sebesar 30,719,600 kcal/jam dengan daya generator sebesar 8410 kWh/jam pada kondisi beban penuh.

2.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

2.3.1 Variabel Bebas

Variabel bebas adalah **beban operasi pembangkit**, yang terdiri dari tiga tingkat variasi:

- a. Beban 50%
- b. Beban 75%
- c. Beban 100%

2.3.2 Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) yang menunjukkan tingkat efisiensi pembangkit listrik.

2.3.3 Jumlah Sampel

Jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 data pengamatan, yang terdiri dari:

- a. 10 data pada beban 50%
- b. 10 data pada beban 75%
- c. 10 data pada beban 100%

2.4 Net Plant Heat Rate

Nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) dihitung berdasarkan rasio antara energi panas yang masuk ke sistem pembangkit dengan energi listrik bersih yang dihasilkan oleh generator.

Secara matematis NPHR dapat dihitung dengan persamaan:

$$NPHR = \frac{\text{Heat Input}}{\text{Net Power Output}} \quad (1)$$

(Sumber: Wood et al, 2013)

dimana:

NPHR = *Net Plant Heat Rate* (kcal/kWh)

Heat Input = energi panas yang masuk ke boiler (kcal/jam)

Net Power Output = daya listrik bersih yang dihasilkan generator (kWh)

2.5 Pengolahan Data

Data penelitian yang diperoleh kemudian diolah menggunakan perangkat lunak pengolahan data untuk perhitungan awal dan analisis statistik. Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini meliputi:

1. Pengumpulan data performa pembangkit pada setiap variasi beban operasi.
2. Perhitungan nilai Net Plant Heat Rate berdasarkan data heat input dan daya listrik yang dihasilkan.
3. Pengelompokan data berdasarkan tingkat beban operasi.
4. Perhitungan nilai rata-rata dan standar deviasi NPHR pada setiap kelompok beban.
5. Analisis statistik menggunakan metode ANOVA untuk menguji perbedaan rata-rata NPHR antar kelompok.

2.6 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan menggunakan metode ANOVA satu arah (*One-Way ANOVA*) untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai rata-rata NPHR pada tiga variasi beban operasi.

Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

Hipotesis nol (H_0): Variasi beban operasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai NPHR.

Hipotesis alternatif (H_1): Variasi beban operasi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai NPHR.

Kriteria pengambilan keputusan adalah sebagai berikut:

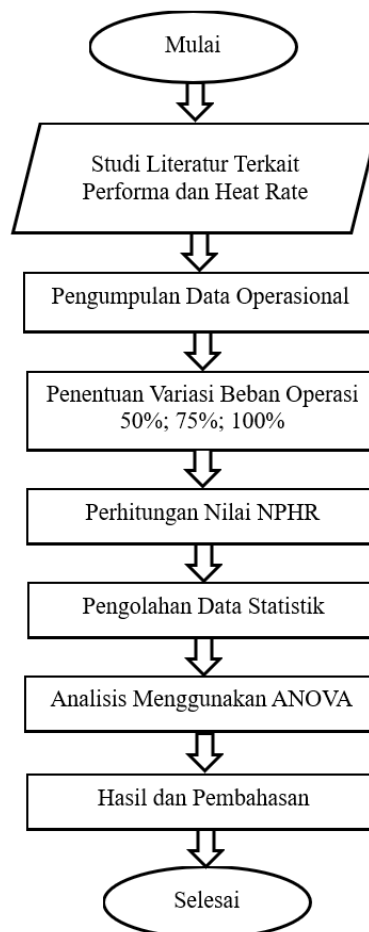
Jika nilai p-value $< 0,05$, maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Jika nilai p-value $\geq 0,05$, maka H_0 diterima.

2.7 Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dapat digambarkan melalui diagram alir sebagai berikut:

1. Studi literatur terkait performa PLTU dan heat rate
2. Pengumpulan data operasional pembangkit
3. Penentuan variasi beban operasi (50%, 75%, 100%)
4. Perhitungan nilai NPHR
5. Pengolahan data statistik
6. Analisis menggunakan ANOVA
7. Interpretasi hasil dan pembahasan

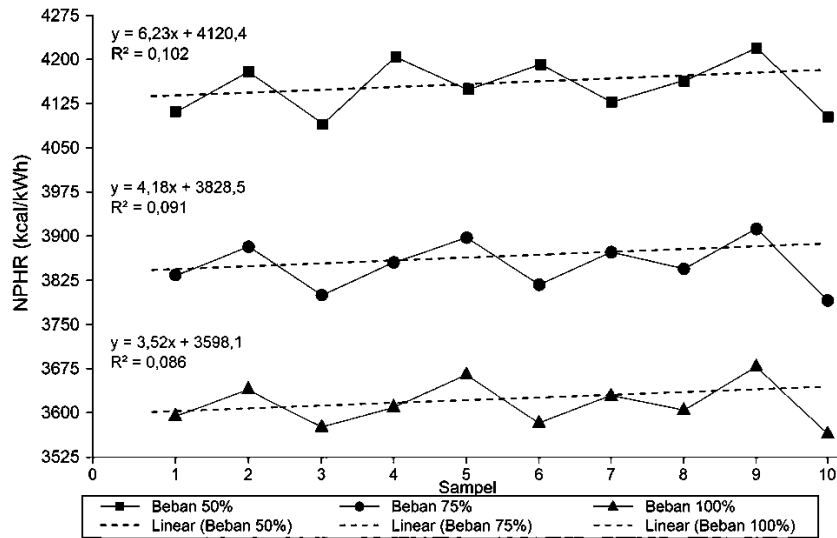


Gambar 1. Metodologi Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perhitungan Net Plant Heat Rate

Berdasarkan data operasional pembangkit dengan variasi beban operasi sebesar 50%, 75%, dan 100%, diperoleh nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) yang berbeda pada setiap kondisi operasi. Nilai NPHR dihitung berdasarkan rasio antara energi panas yang masuk ke sistem pembangkit dengan energi listrik bersih yang dihasilkan oleh generator. Hasil pengolahan data dari 30 sampel pengamatan (Gambar 2) yang dapat ditunjukkan oleh grafik di gambar 1 menunjukkan bahwa variasi beban operasi memberikan perubahan pada nilai NPHR.



Gambar 2. Grafik Data Penelitian

Nilai rata-rata NPHR pada masing-masing tingkat beban dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Rata-rata NPHR pada Variasi Beban Operasi

Beban Operasi	Rata-rata NPHR (kcal/kWh)	Standar Deviasi
50%	4160	41
75%	3861	36
100%	3625	37

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata NPHR tertinggi terjadi pada kondisi beban 50%, yaitu sebesar 4160 kcal/kWh, sedangkan nilai NPHR terendah terjadi pada kondisi beban 100%, yaitu sebesar 3625 kcal/kWh. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi beban operasi pembangkit, maka nilai NPHR cenderung menurun.

3.2 Analisis Hubungan Beban Operasi terhadap NPHR

Hubungan antara variasi beban operasi dan nilai NPHR dapat dilihat pada Gambar 1. Grafik menunjukkan adanya kecenderungan penurunan nilai NPHR seiring dengan peningkatan beban operasi generator. Secara umum, pembangkit listrik tenaga uap bekerja berdasarkan prinsip Rankine Cycle, dimana energi panas dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi yang menggerakkan turbin. Efisiensi siklus ini sangat dipengaruhi oleh kondisi operasi pembangkit, termasuk variasi beban generator.

Pada kondisi beban rendah (50%), nilai NPHR relatif lebih tinggi karena beberapa kerugian energi dalam sistem pembangkit menjadi lebih dominan. Kerugian tersebut meliputi kerugian panas pada boiler, kerugian mekanis pada turbin, serta konsumsi daya peralatan bantu yang relatif lebih besar dibandingkan dengan energi listrik yang dihasilkan.

Sebaliknya, pada kondisi beban tinggi (100%), pembangkit beroperasi lebih mendekati kondisi desain sehingga proses konversi energi panas menjadi energi listrik menjadi lebih optimal. Hal ini menyebabkan rasio energi panas yang digunakan terhadap energi listrik yang dihasilkan menjadi lebih kecil sehingga nilai NPHR menurun. Tren ini juga menunjukkan bahwa operasi pembangkit pada beban mendekati kapasitas maksimum dapat meningkatkan efisiensi termal sistem pembangkitan.

Penurunan nilai NPHR seiring meningkatnya beban operasi menunjukkan bahwa pembangkit bekerja lebih efisien, sehingga membutuhkan bahan bakar yang lebih sedikit untuk menghasilkan energi listrik yang sama. Dari sisi ekonomi, hal ini berdampak pada penghematan biaya bahan bakar dan menurunkan biaya operasional pembangkit. Sementara itu, dari sisi lingkungan, penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit juga berarti emisi gas karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Dengan demikian, pengoperasian pembangkit pada beban mendekati kapasitas maksimum tidak hanya meningkatkan efisiensi, tetapi juga lebih hemat biaya dan lebih ramah lingkungan.

3.3 Hasil Analisis Statistik ANOVA

Untuk mengetahui apakah perbedaan nilai rata-rata NPHR pada setiap variasi beban operasi memiliki signifikansi secara statistik, dilakukan analisis menggunakan metode *Analysis of Variance* (ANOVA) satu arah. Hasil analisis ANOVA dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji ANOVA

Sumber Variasi	df	SS	MS	F	p-value
Antar Kelompok	2	1,437,000	718,500	452.8	<0.001
Dalam Kelompok	27	42,840	1,587		
Total	29	1,479,840			

Berdasarkan hasil analisis ANOVA diperoleh nilai p-value < 0.05, sehingga hipotesis nol (H₀) ditolak dan hipotesis alternatif (H₁) diterima (Kurniawan et al, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa variasi beban operasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai NPHR pada pembangkit listrik tenaga uap yang diteliti. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perubahan beban operasi dari 50% menuju 100% memberikan perubahan yang signifikan terhadap efisiensi termal pembangkit.

3.4 Pembahasan Kinerja Pembangkit

Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan beban operasi menyebabkan penurunan nilai NPHR. Penurunan nilai NPHR ini menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga uap memiliki efisiensi yang lebih tinggi ketika beroperasi mendekati kapasitas penuh.

Pada kondisi beban 50%, rata-rata nilai NPHR sebesar 4160 kcal/kWh, yang menunjukkan bahwa pembangkit membutuhkan energi panas yang lebih besar untuk menghasilkan energi listrik. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti ketidakseimbangan proses pembakaran pada boiler, penurunan efisiensi turbin pada kondisi parsial, serta peningkatan rasio konsumsi daya peralatan bantu.

Pada kondisi beban 75%, nilai NPHR mengalami penurunan menjadi 3861 kcal/kWh, yang menunjukkan peningkatan efisiensi pembangkit dibandingkan dengan kondisi beban rendah. Pada kondisi ini sistem pembangkit mulai mendekati kondisi operasi optimal sehingga kerugian energi dalam sistem menjadi lebih kecil.

Sementara itu, pada kondisi beban penuh (100%), nilai NPHR mencapai nilai terendah yaitu 3625 kcal/kWh. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pembangkit bekerja lebih efisien karena proses pembakaran pada boiler lebih stabil, aliran uap pada turbin lebih optimal, serta pemanfaatan energi panas menjadi lebih efektif.

Hasil penelitian ini sejalan dengan karakteristik umum operasi pembangkit listrik tenaga uap dimana efisiensi sistem pembangkitan meningkat seiring dengan peningkatan beban operasi hingga mendekati kapasitas desain pembangkit. Oleh karena itu, pengoperasian pembangkit listrik tenaga uap pada beban yang lebih tinggi dapat menjadi salah satu strategi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar dan menurunkan nilai heat rate.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh variasi beban operasi terhadap nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) pada unit PLTU 3×10 MW, dapat disimpulkan bahwa variasi beban operasi memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi pembangkit. Nilai rata-rata NPHR tertinggi terjadi pada beban 50% sebesar 4160 kcal/kWh, menurun menjadi 3861 kcal/kWh pada beban 75%, dan mencapai nilai terendah 3625 kcal/kWh pada beban penuh (100%). Analisis statistik menggunakan ANOVA satu arah menunjukkan bahwa perbedaan nilai NPHR antar tingkat beban operasi signifikan secara statistik ($p\text{-value} < 0,05$), sehingga peningkatan beban operasi secara nyata menurunkan nilai NPHR dan meningkatkan efisiensi termal pembangkit. Hasil ini menegaskan bahwa pengoperasian PLTU mendekati kapasitas desain optimal dapat memaksimalkan pemanfaatan energi panas dari bahan bakar, mengurangi konsumsi energi per unit listrik, serta mendukung strategi efisiensi operasional pada pembangkit listrik tenaga uap.

REFERENCES

- Alkahfi Samanglangi, AM., Fiyana, L., Nawir, M., Nojeng, S., Syarifuddin, A. 2024. Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, Heat Rate Dan Efisiensi Pada Unit 8 PLTU PT. Indonesian Tsingshan Stainless Steel. *Jurnal Logitech* Vol. 7 No. 1, Maret 2024. <https://doi.org/10.64109/logitech.v7i1.2>
- Ariyandi, A., Taqiyuddin, & Patriana, D. (2024). Analisis variasi pembebanan terhadap konsumsi bahan bakar spesifik, heat rate dan biaya produksi listrik di PLTU Asam-Asam Unit 4. *Jurnal Teknik Elektro UNIBA*, 9(1). <https://doi.org/10.36277/jteuniba.v9i1.298>
- Febrianto, M. R., Widiawaty, C. D., & Wijayanti, F. (2025). Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Nilai Turbin Heat Rate dan Efisiensi Termal Turbin pada PLTU Cilacap. *Jurnal Mekanik Terapan*, 6(3), 117–124. <https://doi.org/10.32722/jmt.v6i3.7610>
- Hamzah, N., Shiddiq Yunus, AM., Dirgantama, D. 2021. Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Heat Rate pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeneponto 2 135 MW. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, <https://doi.org/10.31963/sinergi.v18i2.2674>
- Ilham, M., Salimin., Aksar, P. 2021. Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi dan Heat Rate Turbin Pada Pltu Moramo. *ETHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin* Vol. 6 (3), September 2021 : Hal 107-113.

- Kocak, G., & Durmusoglu, Y. (2023). *Exergy efficiency and EEXI analysis of a marine power plant at partial load conditions*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment, 238(3), 543–552. <https://doi.org/10.1177/14750902231207133>
- Kurniawan, E., Putro, P., & Sari, N. (2023). Analisis performa sistem energi menggunakan pendekatan statistik dan uji ANOVA. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 11(3), 210–218.
- Liu, Y., Zhang, X., & Li, J. (2024). Thermodynamic analysis and operation strategy optimization of coupled molten salt energy storage system for coal-fired power plant. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121702>
- Maulana, D. & Mursadin, A. (2025). ANALISIS HEAT RATE PADA PLTU PT. PLN INDONESIA POWER UBP ASAM ASAM (UNIT 2). JTAM ROTARY (*Jurnal Teknik Mesin dan Rotary*). 10.20527/jtam_rotary.v7i2.16772
- Migisha, A. G., Ntayi, J. M., Buyinza, F., Senyonga, L., Abaliwano, J., & Adaramola, M. S. (2023). *Electricity reliability and efficiency challenges in developing countries: A case for sustainable energy transitions*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 170, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112120>
- Montgomery, D.C. 2019. Design and Analysis of Experiments. Eighth Edition. John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1-118-14692-7
- Narwastu, K., & Zarma Putra, I. (2024). PENGARUH KUALITAS PASOKAN BATUBARA TERHADAP HEAT RATE DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) TANJUNG KASAM PLN BATAM. *JURNAL REKAYASA ENERGI*, 3(2), 57–64. <https://doi.org/10.31884/jre.v3i2.63>
- Nisa, K., & Nugraha, F. (2025). Evaluasi kinerja termal pembangkit listrik tenaga uap berdasarkan net plant heat rate. *Jurnal Teknik Energi Indonesia*, 14(1), 45–52.
- Putra, A.R., & Nazir, R. (2023). Power Plant Performance Analysis on Variations of Generator Loading at Ombilin Coal Fired Steam Power Plant Unit 1 (2x100 MW). *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 3(2), 80–88. <https://doi.org/10.25077/aijaset.v3i2.58>
- Saputro, D., Maulana, I., & Setiawan, D. (2022). Pengaruh variasi beban terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga uap. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(2), 75–83.
- Setyawan, E.A. & Sudiarto, B. 2024. Optimization of Heat Rate and Greenhouse Gas Emission Reduction at Coal-Fired Power Plants in Indonesia Through Machine Learning Modeling. *International Journal of Electrical Computer and Biomedical Engineering* 2(4). DOI:10.62146/ijecbe.v2i4.77
- Sumarna, H., Wulandari, S., Lestari, T. 2024. Thermal Performance Analysis of a Shell and Tube Condenser in Steam Power Plant. Proceedings of the 7th FIRST 2023 International Conference on Global Innovations (FIRST-ESCSI 2023). 10.2991/978-94-6463-386-3_53
- Wahyudi, T., & Kusuma, Y. (2023). Analisis rugi-rugi heat rate PLTU Banten 3 Lontar akibat deviasi parameter pada kondisi aktual. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 9(1). <https://doi.org/10.21009/JKEM.9.1.2>
- Wood, A. J., Wollenberg, B. F., & Sheblé, G. B. (2013). *Power Generation, Operation, and Control* (3rd ed.). Wiley.
- Zhou, W., Wang, L., & Yang, X. (2021). Thermodynamic analysis of coal-fired power plant based on the feedwater heater drainage-air preheating system. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116420>