

Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan, *Heat Rate* dan Efisiensi pada Unit 1 PLTU Kendari-3

Ivan Darren Alber¹, Berkah Fajar Tamtono Kiono²

¹Magister Energi, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

²Departemen Teknik Mesin, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro;

Email : ivandarren@students.undip.ac.id (I.D.A), fajarberkah10@lecturer.undip.ac.id (B.F.T.K);

Abstrak : Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kendari-3 merupakan PLTU di Indonesia yang memanfaatkan energi batubara sebagai bahan bakar dengan kapasitas 2×50 MW. Beban yang dibangkitkan pada PLTU Kendari-3 tidak selalu konstan karena adanya fluktuasi beban pada jaringan listrik sesuai dengan permintaan konsumen (Ilham & Aksar, 2021). Konsumsi spesifik bahan bakar merupakan parameter yang penting untuk melihat efisiensi pembangkit listrik terhadap konsumsi dari bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik (Putra et al., 2021). Pada penelitian ini menganalisa pengaruh pembebanan listrik unit PLTU Kendari-3 terhadap nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC), *Net Plant Heat Rate* (NPHR), *Gross Plant Heat Rate* (GPHR), dan efisiensi termal dengan menggunakan metode pendekatan analisis termodinamika dan metode *input – output* energi. Data yang dianalisis adalah data aktual saat operasi normal yang diambil dari *Distributed Control System* (DCS). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban unit PLTU Kendari-3 akan semakin semakin baik performa *plant*nya. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenaikan efisiensi 25,30 % pada beban 30 MW *Net* naik menjadi 29,89 % pada beban 40 MW *Net*, dan naik menjadi 30,40 % pada beban 50 MW *Net*. Selain itu naiknya performa *plant* juga ditunjukkan dengan turunnya nilai *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) dari 3.399,06 kkal/kWh pada beban 30 MW *Net* turun menjadi 2.876,62 kkal/kWh pada beban 40 MW *Net*, dan turun menjadi 2.828,46 kkal/kWh pada 50 MW *Net*.

Kata Kunci : *Heat Rate*, Efisiensi, *Specific Fuel Consumption*

Abstract : Kendari-3 Steam Power Plant (PLTU) is a steam power plant in Indonesia that utilizes coal energy as fuel with a capacity of 2×50 MW. The load generated at PLTU Kendari-3 is not always constant due to fluctuations in the load on the electricity network according to consumer demand (Ilham and Aksar, 2021). The specific consumption of fuel is an important parameter to maintain the

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2022, Vol. 3, No. 3, pp 179 – 186

Received : 02 Agustus 2022

Accepted : 06 September 2022

Published : 31 Oktober 2022



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

efficiency of a power plant on the consumption of the fuel used to generate electrical energy (Putra et al., 2021). This study analyzes the effect of the electrical loading of the Kendari-3 PLTU unit on the value of Specific Fuel Consumption (SFC), Net Plant Heat Rate (NPHR), Gross Plant Heat Rate (GPHR), and thermal efficiency by using a thermodynamic analysis approach and input-output energy method. The data analyzed is the actual data during normal operation taken from the Distributed Control System (DCS). The results of this study indicate that the greater the load unit of PLTU Kendari-3, the better the performance of the plant. This is indicated by an increase in efficiency of 25.30% at a load of 30 MW Net, increasing to 29.89% at a load of 40 MW Net, and increasing to 30.40% at a load of 50 MW Net. In addition, the increase in plant performance is also shown by the decrease in the Gross Plant Heat Rate (GPHR) from 3,399.06 kcal/kWh at 30 MW Net, down to 2,876.62 kcal/kWh at 40 MW Net, and down to 2,828.46 kcal/kWh at 50 MW Net.

Keywords : Heat Rate, efficiency, Specific Fuel Consumption

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan penduduk di Indonesia, maka kebutuhan energi khususnya energi listrik terus meningkat (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019). Untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada masyarakat Indonesia, pemerintah wajib membangun pembangkit listrik. Salah satu pembangkit listrik yang dapat memenuhi energi listrik di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi kinetik uap untuk menggerakkan turbin uap, sehingga menghasilkan energi listrik melalui generator (Marsudi, 2011) (Yulia et al., 2021). Uap yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik merupakan air yang dipanaskan pada boiler melalui proses pembakaran menggunakan batubara. Batubara disalurkan ke ruang bakar (furnace) yang berfungsi sebagai bahan bakar pembakaran boiler. Kemudian pada proses pemanasan boiler terjadi perubahan fasa dari cair ke uap. Selanjutnya air yang telah dipanaskan oleh boiler menjadi uap air tersebut digunakan untuk menggerakkan turbin uap dan generator dalam satu poros sehingga dapat membangkitkan energi listrik (Nag, 2002). Energi listrik yang dibangkitkan selanjutnya akan ditransmisikan ke konsumen dengan jaringan transmisi dan distribusi (Marsudi, 2006).

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Kendari-3 adalah salah satu objek vital nasional dan berperan dalam pembangkitan energi listrik menggunakan bahan bakar batu bara yang menyalurkan energi listrik ke PT PLN (Persero). PLTU Kendari-3 yang berkapasitas 50 MW melayani suplai listrik area Sulawesi Tenggara dan interkoneksi dengan jaringan 150 kV Grid Makasar. Akan tetapi beban yang dibangkitkan pada PLTU Kendari-3 tidak selalu konstan karena adanya fluktuasi beban pada jaringan listrik sesuai dengan permintaan konsumen. Untuk itu perlu diketahui performa unit PLTU pada beban yang berbeda agar dapat mengetahui kemampuan dan tingkat efisiensi PLTU pada beban yang diminta oleh unit pengatur beban. Dengan adanya tuntutan efisiensi terhadap pembangkit listrik maka faktor efisiensi sangatlah penting dan menjadi pembahasan utama pada pembangkit-pembangkit listrik. Efisiensi termal merupakan parameter penting dalam menentukan besarnya efisiensi yang dibangkitkan oleh PLTU. (Nusyirwan, 2010). Efisiensi termal dapat dihitung dengan melakukan perhitungan *heat rate* pembangkit listrik serta melakukan perhitungan nilai kalori pada bahan bakar yang digunakan.

2. Metode Penelitian

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Unit 1 PLTU Kendari-3, Sulawesi Tenggara pada bulan Desember 2021. Data operasi yang akan dianalisis adalah data operasi harian bulan 14 Oktober 2021 pada pukul 04:00 – 08:00 WITA (30 MW *Net*), 13:00 – 17:00 WITA (40 MW *Net*), dan 18:00 – 22:00 WITA (50 MW *Net*). Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data operasional harian PLTU Kendari-3 Unit 1 yang diperoleh langsung dari data *Distributed Control System* (DCS) di *Central Control Room* (CCR).

2.2. Pengumpulan Data

Dalam mengumpulkan data, peneliti mengambil data bahan bakar batubara yang dikonsumsi untuk membangkitkan energi listrik serta data energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Data yang diambil dan dikumpulkan berasal dari data sekunder Pembangkit Listrik Tenaga Uap di IPP PLTU Kendari-3 dengan kapasitas 2×50 MW. Data yang digunakan dan dikumpulkan adalah data operasional harian PLTU Kendari-3 Unit 1 yang diperoleh langsung dari data *Distributed Control System* (DCS) selama unit beroperasi dan observasi langsung pada petugas yang bertugas di PLTU Kendari-3 di bagian *Central Control Room* (CCR). Adapun Data parameter yang dibutuhkan untuk menghitung nilai *plant heat rate*, efisiensi termal dan SFC pada kondisi operasi unit dengan variasi beban 30 MW, 40 MW dan 50 MW antara lain:

- 1) Nilai kalori batu bara yang dipakai (kkal/kg).
- 2) Data konsumsi batu bara (kg) *Net* bulan 14 Oktober 2021 pada pukul 04:00 – 08:00 WITA untuk 30 MW *Net*, pada pukul 13:00 – 17:00 WITA untuk 40 MW *Net*, pada pukul 18:00 – 22:00 WITA untuk 50 MW *Net*.
- 3) kWh *Gross* dan kWh *Net* bulan 14 Oktober 2021 pada pukul 04:00 – 08:00 WITA untuk 30 MW *Net*, pada pukul 13:00 – 17:00 WITA untuk 40 MW *Net*, pada pukul 18:00 – 22:00 WITA untuk 50 MW *Net*.

2.3. Perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Specific fuel consumption (SFC) merupakan salah satu hal yang terpenting dalam pengoperasian pembangkit listrik dengan menunjukkan besarnya efisiensi dalam pembangkit listrik dalam mengubah energi kimia menjadi energi mekanik. (Gudmundsson, 2014) (R.N.Brady, 2013). SFC merupakan jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh pembangkit untuk menghasilkan daya 1 KW selama 1 jam. Semakin rendah nilai dari SFC maka semakin rendah pula konsumsi bahan bakar yang digunakan. Maka dengan demikian formula pemakaian SFC dapat ditulis dalam Persamaan 1 dan 2 (Riadessy, 2015).

$$\text{SFC Gross} = \frac{Q_f}{\text{Gross Power}} \quad (1)$$

$$\text{SFC Net} = \frac{Q_f}{\text{Net Power}} \quad (2)$$

Dimana :

SFC *gross* = *Specific Fuel Consumption gross* [kg/kWh]

SFC *Net* = *Specific Fuel Consumption Net* [kg/kWh]

Gross Power = Jumlah energi listrik yang dihasilkan generator [kWh]

Net Power = Jumlah energi listrik (*Gross Power* – *auxiliary*) [kWh]

Q_f = Jumlah bahan bakar yang digunakan [kg]

2.4. Perhitungan *Heat Rate*

Heat Rate (Laju Kalor) merupakan salah parameter efisiensi pembangkit listrik yang mengubah bahan bakar menjadi panas dan kemudian menjadi energi listrik. *Heat rate* merupakan total kalor yang masuk dalam pembangkit dibandingkan dengan energi listrik yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik. Laju perpindahan kalor ini sangat bergantung pada jenis mediumnya. didapat dengan menggunakan persamaan 3 dan 4 (Sugiantoro, 2008).

$$\text{GPHR} = \frac{Q_f \times \text{LHV}}{\text{Gross Power}} \quad (3)$$

$$\text{NPHR} = \frac{Q_f \times \text{LHV}}{\text{Net Power}} \quad (4)$$

Dimana :

GPHR = *Gross Plant Heat Rate* [kkal/kWh]

NPHR = *Net Plant Heat Rate* [kkal/kWh]

Q_f = Jumlah pemakaian bahan bakar (Batubara) per jam [kg]

LHV = Nilai kalori pada batubara per kg [kkal/kg]

Gross Power = Jumlah energi listrik yang dihasilkan generator [kWh]

Net Power = Jumlah energi listrik (*Gross Power* – *auxiliary*) [kWh]

2.5. Perhitungan Efisiensi Termal

Efisiensi termal merupakan salah satu faktor dalam menunjukkan performa kinerja pembangkitan listrik. Efisiensi termal η_{th} merupakan persentase perbandingan antara energi yang dibangkitkan pada pembangkit listrik dengan energi dari bahan bakar yang digunakan dalam rentang waktu tertentu. Perubahan beban yang dihasilkan oleh pembangkit listrik mempengaruhi tingkat efisiensi pembangkitan listrik, semakin besar beban yang dibangkitkan maka semakin tinggi pula efisiensinya. Dibawah ini merupakan energi yang terdapat pada PLTU (Simanjuntak, 2017):

- 1) Energi pada bahan bakar. Energi dengan satuan kkal/kg dapat dihitung ori yang kandungan nilai kalori dalam bahan bakar yang dikonsumsi.
- 2) Energi dalam fluida kerja. Besarnya energi pada fluida kerja dapat diketahui dengan menggunakan diagram moiler. Apabila tekanan dan suhu pada fluida kerja diketahui, maka dapat dicari besaran entalpi dengan cara melihat per potongan antara garis tekanan dan suhu pada diagram Mollier, kemudian akan mendapatkan entalpi.
- 3) Energi yang dibangkitkan dari generator yakni energi listrik (Wang et al., 2021).

Dengan demikian formula efisiensi termal dapat ditulis sebagai berikut:

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

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari penelitian ini dapat dilihat dalam bentuk grafik yang menampilkan hubungan nilai beban terhadap *plant heat rate*, efisiensi termal dan SFC. Penelitian yang dilakukan akan membandingkan bagaimana nilai *plant heat rate*, efisiensi termal dan SFC saat PLTU Kendari-3 berbeban 30 MW *Net*, 40 MW *Net*, dan 50 MW *Net* yang menggunakan bahan bakar batubara sub-bituminous dengan jumlah kalori batubara 4.179,677 kkal/kg. Tabel 1 hasil data yang didapat langsung dari DCS di CCR PLTU Kendari-3.

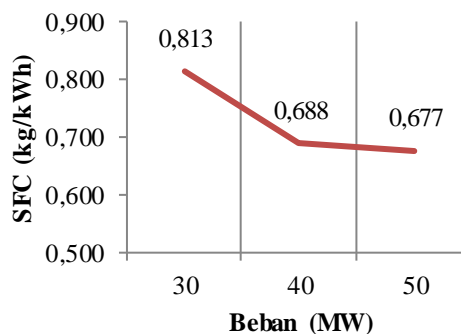
Tabel 1.

Waktu	Beban <i>Net</i> (MW)	Konsumsi Batubara (kg)	<i>Gross Power</i> (kWh)	<i>Net Power</i> (kWh)
04:00 – 08:00	30	116.039	142.688	124.250
13:00 – 17:00	40	126.765	184.187	163.313
18:00 – 22:00	50	151.965	224.562	201.188

Tabel 1 menunjukkan konsumsi batubara dan produksi energi listrik yang dihasilkan pada beban 30 MW *Net*, 40 MW *Net*, dan 50 MW *Net* selama 4 jam. Pada beban 30 MW PLTU Kendari-3 mengonsumsi batubara sebesar 116.039 kg yang menghasilkan *gross power* sebesar 142.688 kWh dan *net power* 124.250 kWh. Sedangkan pada beban 40 MW PLTU Kendari-3 mengonsumsi batubara sebesar 126.765 kg yang menghasilkan *gross power* sebesar 184.187 kWh dan *net power* 163.313 kWh. Pada beban 50 MW PLTU Kendari-3 mengonsumsi batubara sebesar 151.965 kg yang menghasilkan *gross power* sebesar 224.562 kWh dan *net power* 201.188 kWh.

3.1. Analisis Pembebanan Listrik Terhadap SFC

Kenaikan beban yang dihasilkan oleh PLTU akan berpengaruh terhadap SFC. Pada Analisa beban terhadap SFC, peneliti menghitung SFC *Gross* untuk melihat performa *plant* dan energi yang dihasilkan oleh generator terhadap konsumsi batubara. Berikut ini hasil grafik dari perhitungan dan pengaruh nilai beban terhadap SFC.



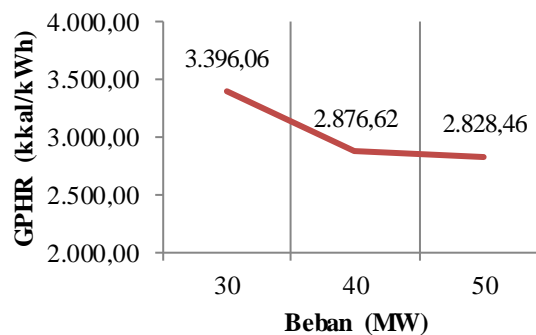
Gambar 1. Grafik Hubungan Pembebanan Listrik dengan SFC

Pada grafik Gambar 1 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya pembebanan listrik yang dibangkitkan maka nilai SFC semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada pembebanan listrik yang tinggi, jumlah konsumsi spesifik bahan bakar per kWh lebih sedikit dibandingkan pada

kondisi pembebanan listrik yang rendah. Pada beban 30 MW, untuk menghasilkan 1 kWh dibutuhkan batubara sebanyak 0,813 kg. Pada beban 40 MW, untuk menghasilkan 1 kWh dibutuhkan batubara sebanyak 0,688 kg dan Pada beban 50 MW, untuk menghasilkan 1 kWh dibutuhkan batubara sebanyak 0,677 kg.

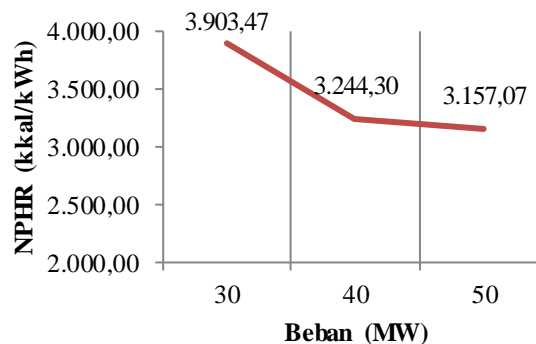
3.2. Analisis Pembebanan Listrik Terhadap *Plant Heat Rate*

Pada tanggal 14 November 2021 di PLTU Kendari-3 menggunakan bahan bakar batubara sub-bituminous dengan jumlah kalori batubara 4.179,677 kkal/kg. Analisis beban terhadap *plant heat rate* digunakan untuk menganalisa besarnya perbandingan antara jumlah kalori dari bahan bakar batubara dengan energi listrik yang berupa energi *output* pembangkit listrik (Burnett & Kiesling, 2019). GPHR merupakan jumlah kalori bahan bakar untuk menghasilkan setiap kWh *Gross*. Berikut ini hasil grafik dari perhitungan dan hubungan nilai beban terhadap GPHR.



Gambar 2. Grafik Hubungan Pembebanan Listrik dengan GPHR

Gambar 2 menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya pembebanan listrik yang dibangkitkan maka nilai GPHR semakin rendah nilainya. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban yang tinggi, keandalan dari suatu unit pembangkit semakin tinggi. Sebaliknya pada beban yang rendah, keandalan dari suatu unit pembangkit semakin menurun. Pada beban 30 MW, energi kalor pada batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik *gross* 1 kWh adalah sebesar 3.399,06 kkal. Pada beban 40 MW, energi kalor pada batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik *gross* 1 kWh adalah sebesar 2.876,62 kkal dan Pada beban 50 MW, energi kalor pada batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik *gross* 1 kWh adalah sebesar 2.828,46 kkal.

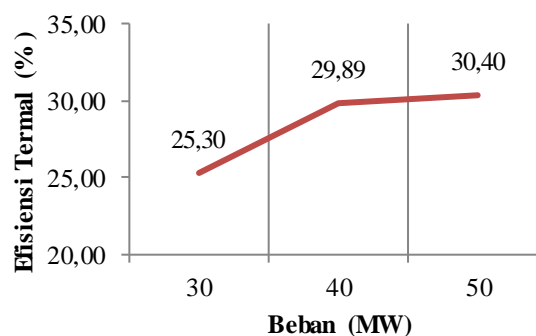


Gambar 3. Grafik Hubungan Pembebanan Listrik dengan NPHR

NPHR adalah salah satu parameter efisiensi dari kinerja pembangkit listrik. NPHR merupakan jumlah kalori bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik yang dibangkitkan oleh generator, yang kemudian dikurangi dengan pemakaian beban sendiri/*auxiliary system*. Pada Gambar 3 menunjukkan bahwa seiring dengan bertambahnya pembebanan listrik yang dibangkitkan maka nilai NPHR semakin rendah nilainya. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban yang tinggi, keandalan dari suatu unit pembangkit semakin tinggi. Sebaliknya pada beban yang rendah, keandalan dari suatu unit pembangkit semakin menurun. Pada beban 30 MW, energi kalor pada batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik *net* 1 kWh adalah sebesar 3.903,47 kkal. Pada beban 40 MW, energi kalor pada batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik *net* 1 kWh adalah sebesar 3.244,30 kkal dan Pada beban 50 MW, energi kalor pada batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik *net* 1 kWh adalah sebesar 3.157,07 kkal,

3.3. Analisis Pembebanan Listrik Terhadap Efisiensi Termal

Efisiensi termal merupakan persentase antara energi yang dihasilkan dengan energi yang dikonsumsi dalam suatu sistem dengan periode tertentu. Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya pembebanan listrik yang dibangkitkan maka nilai dari efisiensi termal PLTU Kendari-3 semakin tinggi dan dapat dikatakan efisien. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban yang tinggi, persentase antara energi yang dihasilkan dengan energi yang dikonsumsi semakin tinggi juga. Pada beban 30 MW memiliki efisiensi termal *plant* sebesar 25,30%. Pada beban 40 MW memiliki efisiensi termal *plant* sebesar 29,89 %. dan pada beban 50 MW memiliki efisiensi termal *plant* sebesar 30,40%.



Gambar 4. Grafik Hubungan Pembebanan Listrik dengan Efisiensi Termal

4. Kesimpulan

Dengan dilakukannya penelitian dan analisis terhadap data yang diperoleh di Unit 1 PLTU Kendari-3, serta berdasarkan perumusan masalah yang telah diambil maka dapat disimpulkan bahwa beban unit pada PLTU Kendari-3 mempengaruhi SFC, nilai *plant heat rate* dan efisiensi termal. Dari analisis data yang dilakukan diketahui bahwa semakin besar beban unit PLTU Kendari-3 akan semakin baik performa *plant*nya. Hal tersebut ditunjukkan dengan kenaikan efisiensi 25,30 % pada beban 30 MW *Net* naik menjadi 29,89 % pada beban 40 MW *Net*, dan naik menjadi 30,40 % pada beban 50 MW *Net*. Kenaikan efisiensi *plant* dipengaruhi oleh perbandingan antara besarnya energi yang dihasilkan dengan jumlah energi yang dibutuhkan. Selain itu naiknya performa *plant* juga ditunjukkan dengan turunnya nilai GPHR dan NPHR. Turunnya GPHR dari 3.399,06 kkal/kWh pada beban 30 MW *Net* turun menjadi 2.876,62 kkal/kWh pada beban 40 MW *Net*, dan turun menjadi

2.828,46 kkal/kWh pada 50 MW *Net*. Begitu pula pada NPHR dari 3.903,47 kkal/kWh pada beban 30 MW *Net* turun menjadi 3.244,30 kkal/kWh pada beban 40 MW *Net*, dan turun menjadi 3.157,07 kkal/kWh pada 50 MW *Net*. Dengan adanya penurunan nilai *plant heat rate* turbin uap tersebut maka konsumsi spesifik bahan bakar untuk membangkitkan energi listrik *gross* juga menurun yaitu dari 0,813 kg/kWh pada beban 30 MW *Net* menjadi 0,688 kg/kWh pada beban 40 MW *Net*, dan menjadi 0,677 kg/kWh pada beban 50 MW *Net*.

Daftar Pustaka

- Burnett, J. W., & Kiesling, L. L. (2019). Power plant heat-rate efficiency as a regulatory mechanism: Implications for emission rates and levels. *Energy Policy*, 134(August), 110980. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.110980>
- Gudmundsson, S. (2014). Selecting the Power Plant. In *General Aviation Aircraft Design*. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-397308-5.00007-6>
- Ilham, M., & Aksar, P. (2021). Analisis Pengaruh Nilai Beban Unit Terhadap Efisiensi dan Heat Rate Turbin Pada Pltu Moramo. 6(September), 107–113.
- Marsudi, D. (2006). *Operasi Sistem Tenaga Listrik*. Graha Ilmu.
- Marsudi, D. (2011). *Pembangkitan Energi Listrik*. Erlangga.
- Nag, P. K. (2002). *Power Plant Engineering*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.
- Nusyirwan. (2010). *Managemen Pembangkit Teaga Listrik*. Institut Sains dan Teknologi Nasional.
- Putra, A. E., Balaka, R., Hasanudin, L., Mesin, T., Teknik, F., & Oleo, U. H. (2021). Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Di IPP (Independent Power Plant) PLTU Kendari-3. XX(Xx), 1–8.
- R.N.Brady. (2013). *Internal Combustion (Gasoline and Diesel) Engines*. *Earth Systems and Environmental Sciences*. <https://doi.org/doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.01056-3>
- Riadessy, N. Y. I. (2015). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Dengan menggunakan Metode Least Square. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Simanjuntak, S. M. (2017). Studi Pengaruh Operating Heat Rate Terhadap Efisiensi Kinerja Pltu Labuhan Angin Sibolga. 1–54.
- Sugiantoro, B. (2008). Metode Analisis Energy Perhitungan Metode Direct And Indirect (Heat Rate/ Tara Kalor) Bahan Bakar Batu Bara Dan Pengaruhnya Pada Performance Sistem Uap. Iteks.
- Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional. (2019). *Indonesia Energy Out Look 2019*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Wang, Y., Yin, X., Qiao, J., Tan, L., Xu, W., & Li, W. (2021). Generator stator windings ground fault diagnosis for generator–grid directly connected system of floating nuclear power plant. *Energy Reports*, 7, 460–469. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.08.018>
- Yulia, F., Sofianita, R., Prayogo, K., & Nasruddin, N. (2021). Optimization of post combustion CO₂absorption system monoethanolamine (MEA) based for 320 MW coal-fired power plant application Exergy and exergoenvironmental analysis. *Case Studies in Thermal Engineering*, 26(January), 101093. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101093>