ELECTROPS
Jurnal Ilmiah Teknik Elektro
http://e-journals.unmul.ac.id/index.php/TE e-ISSN 2964-2086
Vol. 3, No. 2, 2024

Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Konsumsi Batu Bara, *Heat Rate* dan Efisiensi Termal PLTU Indoeka Unit 1

Dafid Imam Al Farisi[1)], Fatkhul Hani Rumawan[2)], Adi Pandu Wirawan[3)]
[1),2),3)] Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
E-mail: dafidalfarisi01@gmail.com

ABSTRAK

Dengan adanya lonjakan kebutuhan energi di setiap tahunnya, di sisi lain pemerintah juga harus menurunkan emisi gas buang untuk mengurangi efek rumah kaca. Salah satu cara dalam mengurangi emisi gas buang adalah dengan cara efisiensi energi. Dikarenakan PLTU menggunakan pembakaran batu bara untuk menaskan air menjadi uap kering, maka konsumsi bahan bakar, *heat rate* dan efisiensi termal akan terpengaruh oleh perubahan beban PLTU. Sebelum peneliti melakukan perhitungan untuk mencari nilai *SFC*, *plant heat rate* dan efisiensi termal, peneliti harus melakukan pemilihan data dari *database.* Pemilihan data ini mengacu pada beban pembangkitan paling rendah dan data selanjutnya beban naik 10 MW dari data sebelumnya, hingga didapat beban maksimum dari kelipatan 10 MW. Didapatkan nilai beban sebesar 40 MW, 50 MW, 60 MW, 70 MW, 80 MW dan 90 MW dari pemilihan data. Seiring dengan naiknya nilai pembebanan listrik, maka nilai *SFC Nett* cenderung semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada pembebanan listrik yang tinggi, jumlah konsumsi batu bara per kWh lebih sedikit dibandingkan pada kondisi pembebanan listrik yang rendah. Seiring dengan naiknya nilai pembebanan listrik maka nilai *NPHR* akan menjadi semakin rendah. Hal ini menunjukkan bahwa pada beban yang tinggi, keandalan dari suatu unit pembangkit juga akan semakin tinggi. Sebaliknya pada beban yang rendah, keandalan dari suatu unit pembangkit juga akan semakin menurun. Seiring dengan naiknya nilai pembebanan listrik, maka nilai dari efisiensi termal PLTU Indoeka Unit 1 juga semakin tinggi dan dapat dikatakan efisien. Hal ini menunjukkan bahwa pada kondisi beban yang tinggi, persentase antara energi yang dihasilkan dengan energi yang dikonsumsi semakin tinggi juga.

Kata kunci : Efisiensi Termal, Konsumsi Batu bara, *Heat Rate,* PLTU

ABSTRACT

With the availability of energy needs every year, the government on the other hand must also reduce exhaust emissions to reduce the greenhouse effect. One way to reduce exhaust emissions is by energy efficiency. Because steam power plants use burning coal to heat air into dry steam, fuel consumption, heat rate and thermal efficiency will influence changes in the load of steam power plants. Before researchers carry out calculations to find SFC values, plant heat rate and thermal efficiency, researchers must select data from the database. The selection of this data refers to the lowest generation load and the following data increases the load by 10 MW from the previous data, until the maximum load is obtained in multiples of 10 MW. Obtained load values of 40 MW, 50 MW, 60 MW, 70 MW, 80 MW and 90 MW from data selection. As the electricity loading value increases, the Net SFC value tends to get lower. This shows that under high electricity loading conditions, the amount of coal consumed per kWh is less than under low electricity loading conditions. As the electrical loading value increases, the NPHR value will become lower. This shows that at high loads, the noise from a generating unit will also be higher. On the other hand, at low loads, the noise from a generating unit will also decrease. As the electrical loading value increases, the thermal efficiency value of the Indoeka Unit 1 Steam Power Plant also increases and can be said to be efficient. This shows that under high load conditions, the percentage between the energy produced and the energy consumed is also higher.

Keywords : Fuel Consumption, Heat Rate, Steam Power Plant, Thermal Efficiency

1. Pendahuluan

Kalimantan terletak di kawasan yang memiliki curah hujan konstan dan bersuhu tinggi sepanjang tahun. Oleh karena itu, pulau ini memiliki beberapa habitat tropis tersubur di muka bumi dan memiliki hutan basah tropis terluas di kawasan Indomalaya [1]. Namun sangat disayangkan kondisi hutan di pulau Kalimantan mengalami deforestation atau penggundulan hutan termasuk di dalamnya hutan hujan tropis. Hal tersebut sangat di sayangkan mengingat peran hutan sangat krusial dalam menjaga keseimbangan iklim global. Pepohonan hutan menyerap karbon dioksida mengubahnya menjadi oksigen, membantu mengurangi efek rumah kaca [2].

Dampak perubahan iklim secara global telah menjadi perhatian masyarakat dunia dan bangsa-bangsa, termasuk Indonesia. Sebagai negara kepulauan yang memiliki berbagai sumber daya alam dan keanekaragaman yang tinggi, Indonesia memiliki potensi yang besar untuk terkena dampak negatif perubahan iklim karena Indonesia adalah negara kepulauan, dan sekaligus juga memiliki potensi yang besar untuk turut andil dalam melakukan mitigasi maupun adaptasi terhadap dampak negatif perubahan iklim [3]. Di dalam persetujuan paris terdapat poin yang meninta komitmen para pihak (negara-negara) untuk mencapai titik puncak emisi gas kaca secepat mungkin dan melakukan penurunan emisi secara cepat melalui aksi mitigasi. Upaya pemerintah untuk menjawab komitmen dalam perjanjian paris salah satunya pada sektor energi yang menghasilkan 36% efek rumah kaca [4].

Energi listrik merupakan suatu faktor penunjang yang sangat penting bagi perkembangan secara menyeluruh suatu bangsa. Di Indonesia, dengan semakin meningkatnya kegiatan industri dan jumlah penduduknya, maka kebutuhan energi listrik juga mengalami peningkatan. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi ketersediaan listrik di Indonesia, antara lain ketersediaan energi primer, harga bahan bakar, teknologi, dan budaya masyarakat [5]. Pada tahun 2015-2024 diperkirakan pertumbuhan ekonomi Indonesia akan mengalami kenaikan 5.5% hingga 7.0% setiap tahunnya, maka kebutuhan akan energi juga akan mengalami kenaikan [6].

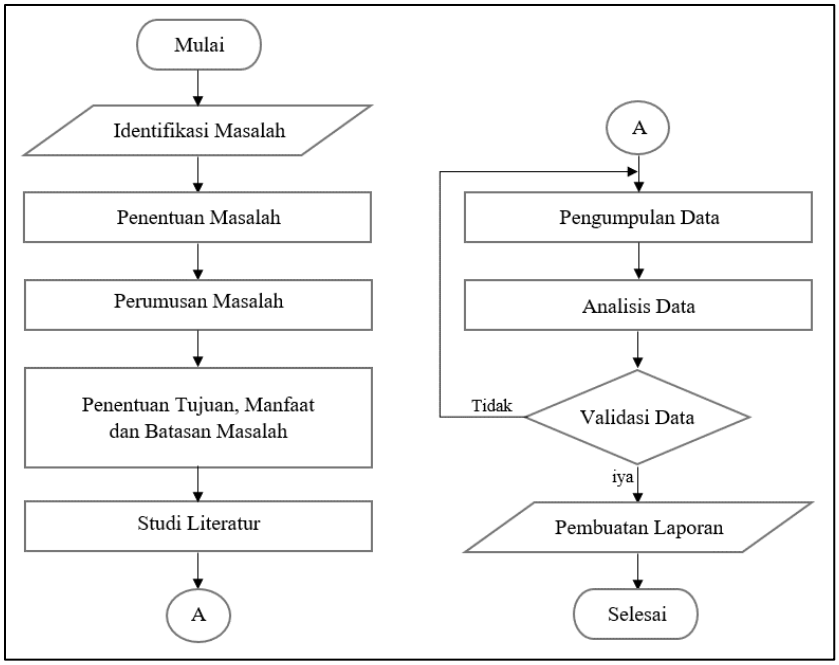
Kebutuhan energi bertumbuh setiap tahun, dengan adanya lonjakan kebutuhan energi di setiap tahunnya, disisi lain pemerintah juga harus menurunkan emisi gas buang untuk mengurangi efek rumah kaca. Salah satu cara dalam mengurangi emisi gas buang adalah dengan cara efisiensi energi. Efisiensi energi didefinisikan sebagai rasio antara *output* yang bermanfaat terhadap jumlah input energi yang digunakan untuk menghasilkan manfaat tersebut [7]. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menggunakan pembakaran batu bara untuk menaskan air menjadi uap kering sehingga maka konsumsi bahan bakar*, heat rate* dan efisiensi termal akan terpengaruh oleh perubahan beban PLTU. Atas dasar tersebut maka perlu dilakukan penelitian untuk membuktikan pengaruh perubahan beban terhadap konsumsi bahan bakar spesifik yaitu jumlah bahan bakar yang terpakai dalam pembakaran untuk memproduksi energi listrik, *heat rate* atau disebut juga tara kalor yaitu nilai kalori yang terbakar untuk menghasilkan energi listrik serta efisiensi termal yaitu persentase keluaran energi terhadap masukan kalor [8].

2. Metode Penelitian

Penelitian yang berlokasi di PT. Indonesia Energi Dinamika (Indoeka) terletak di desa Tanjung Batu, Tenggarong Seberang, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur, Indonesia. Dalam penelitian ini beberapa tahapan dilakukan mulai dari perumusan masalah, pengumpulan data, analisis hingga penarikan kesimpulan digambarkan pada diagram alir Gambar 1.

A. Pengumpulan Data

Pada tahap pengumpulan data, data-data yang diperlukan untuk perhitungan meliputi tanggal, jam, beban, *gross power*, pemakaian sendiri, *nett power*, konsumsi batu bara dan kalori batu bara per kg. Semua data yang diperlukan diambil dari *database* PLTU unit 1 milik PT. Indonesia Energi Dinamika bulan September 2023. Data yang telah didapat berupa *database* nantinya akan dilakukan pemilihan berdasarkan beban terkecil dan data berikutnya berdasarkan 10 MW kenaikan beban hingga beban tertinggi.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

B. Analisis Data

Analisis data adalah cara untuk mengelola data yang telah diperoleh dan kemudian dapat digunakan untuk memperoleh jawaban atau kesimpulan dari penelitian yang dapat dipertanggungjawabkan. Adapun analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut [9]

1. Perhitungan *Spesific Fuel Consumtion* (SFC)

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

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

dengan :
- *SFC Gross* = *Specific Fuel Consumption gross [kg/kWh]*
- *SFC Nett* = *Specific Fuel Consumption Net [kg/kWh]*
- *Gross Power* = *Jumlah energi listrik yang dihasilkan generator [kWh]*
- *Nett Power* = *Jumlah energi listrik (Gross Power – auxiliary) [kWh]*
- *Qf* = *Jumlah bahan bakar yang digunakan [kg]*

Nilai SFC ini didapatkan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2).

2. Perhitungan *Heat Rate*

$$GPHR = \frac{M_f \text{ x } LHV}{Gross\ Power} \quad (3)$$

$$NPHR = \frac{M_f \text{ x } LHV}{Nett\ Power} \quad (4)$$

dengan :
- *GPHR* = *Gross Plant Heat Rate [kkal/kWh]*
- *NPHR* = *Nett Plant Heat Rate [kkal/kWh]*
- *Mf* = *Jumlah pemakaian bahan bakar (Batu bara) per jam [kg]*
- *LHV* = *Nilai kalori pada batubara per kg [kkal/kg]*
- *Gross Power* = *Jumlah energi listrik yang dihasilkan generator [kWh]*
- *Nett Power* = *Jumlah energi listrik (Gross Power – auxiliary) [kWh]*

Nilai *heat rate* ini didapat dengan menggunakan persamaan (3) dan (4).

3. Perhitungan Efisiensi Termal

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

dengan : NPHR = Nett Plant Heat Rate [kkal/kWh]
η_{th} = Efisiensi Termal [%]
Catatan : 1 kWh = 859,845 kcal

Nilai efisiensi ini didapat dengan menggunakan persamaan (5).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian ini akan di paparkan dalam bentuk grafik yang menampilkan nilai beban terhadap *SFC*, *plant heat rate* dan efisiensi termal. Sebelum peneliti melakukan perhitungan untuk mencari nilai *SFC*, *plant heat rate* dan efisiensi termal, peneliti harus melakukan pemilihan data dari *database.* Pemilihan data ini mengacu pada beban pembangkitan paling rendah dan data selanjutnya beban naik 10 MW dari data sebelumnya, hingga didapat beban maksimum dari kelipatan 10 MW.

Tabel 1**.** Data yang didapat berdasarkan kelipatan 10 MW beban

Tanggal	Jam	*Power Gross* (kWh)	PS (kWh)	*Nett Power* (kWh)	Beban (MW)	Konsumsi bb (kg)	Kalori per kg
02-Sep-23	05:00-06:00	49.000,00	7.328,00	41.672,00	40	45.000,00	3.659,00
15-Sep-23	07:00-08:00	58.000,00	7.684,00	50.316,00	50	53.000,00	3.706,00
04-Sep-23	06:00-07:00	68.000,00	8.397,00	59.603,00	60	61.000,00	3.659,00
17-Sep-23	01:00-02:00	79.000,00	8.388,00	70.612,00	70	72.000,00	3.668,00
27-Sep-23	06:00-07:00	90.000,00	8.660,00	81.340,00	80	80.000,00	3.780,00
29-Sep-23	23:00-00:00	102.000,00	11.074,00	90.926,00	90	89.000,00	3.780,00

Dengan cara pemilihan data seperti peneliti lakukan, maka didapatkan data penelitian seperti pada tabel 1 di atas. Pada tabel 1 nilai beban hanya menampilkan bilangan bulat saja, hal ini dilakukan untuk mempermudah peneliti untuk melakukan penyebutan serta pendataan pada penelitian. Maka didapatkan nilai beban sebesar 40 MW, 50 MW, 60 MW, 70 MW, 80 MW dan 90 MW.

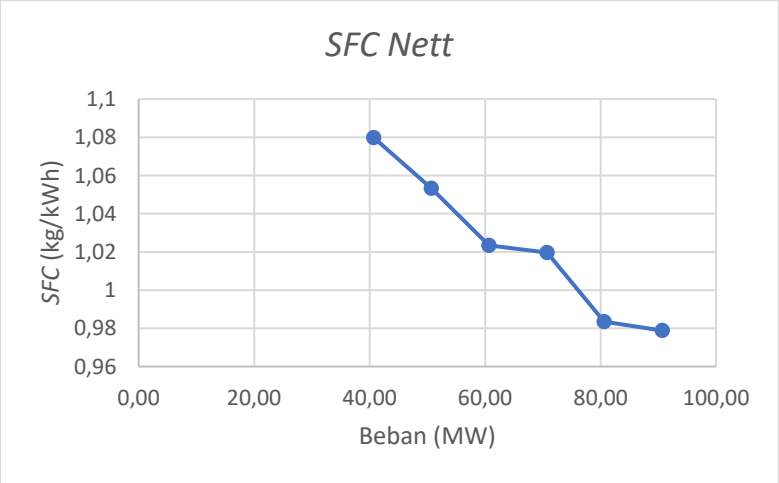
A. Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap *Spesific Fuel Consumption* (*SFC*)

Untuk mendapatkan nilai *spesific fuel conssumption* (*SFC*) *gross* dan *spesific fuel conssumption* (*SFC*) *nett* maka maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (1) dan (2). Untuk mencari nilai *SFC Gross* dan *SFC Nett* maka dibutuhkan data *Nett power* dan data konsumsi batu bara yang ada pada tabel 1. Didapatkan nilai *SFC* dari beban 40 MW sampai dengan beban 90 MW seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan *SFC*

Beban (MW)	*SFC Gross* (kg/kWh)	*SFC Nett* (kg/kWh)
40	0,918	1,080
50	0,914	1,053
60	0,897	1,023
70	0,911	1,020
80	0,889	0,983
90	0,872	0,980

Perubahan beban pada PLTU akan mempengaruhi nilai *SFC*. Pada analisa pengaruh beban terhadap *SFC* ini, peneliti menghitung *SFC Nett* untuk melihat nilai konsumsi bahan bakar terhadap energi pembangkitan secara bersih. Berikut ini hasil grafik dari perhitungan *SFC Nett*.



Gambar 2. Grafik beban terhadap *SFC nett*

Bila di analisa faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan beban terhadap nilai *SFC Nett* adalah sebagai berikut:

1. Semakin tinggi beban pembangkitan maka akan semakin rendah nilai *SFC* yang didapatkan. Hal ini dikarenakan *boiler* dan turbin uap pada PLTU beroperasi lebih efisien pada beban tinggi.
2. Kualitas batu bara yang digunakan juga mempengaruhi besaran nilai *SFC*. Jika nilai kalor yang terkandung pada batu bara memiliki nilai yang tinggi maka akan dapat menghasilkan energi panas yang lebih besar. Bila batu bara yang digunakan dalam pembakaran dapat menghasilkan energi yang lebih besar per kilogram batu bara, maka penggunaan batu bara juga akan menurun.
3. Kondisi operasional PLTU juga mempengaruhi nilai *SFC*, seperti menjaga suhu dan tekanan uap yang optimal serta minimnya gangguan pada pengoperasian PLTU.

B. Analisis Pengaruh Perubahan Beban Terhadap *Heat* Rate

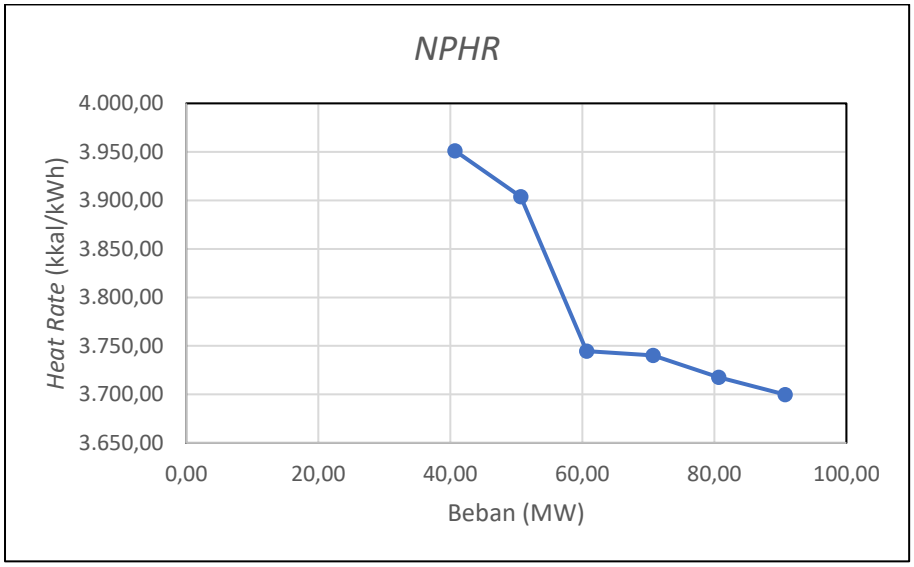
Untuk mendapatkan nilai *gross plant heat rate* (*GPHR*) dan *nett plant heat rate* (*NPHR*) maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (3) dan (4). Untuk mencari nilai *GPHR* dan *NPHR* maka dibutuhkan data *Nett power*, data konsumsi batu bara dan data kalori per kilo yang ada pada tabel 1. Didapatkan nilai *heat rate* dari beban 40 MW sampai dengan beban 90 MW seperti pada tabel 3.

Tabel 2. Hasil perhitungan *heat rate*

Beban (MW)	***GPHR* (kkal/kWh)**	***NPHR* (kkal/kWh)**
40	3.360,31	3.951,21
50	3.386,52	3.903,69
60	3.282,34	3.744,76
70	3.342,99	3.740,10
80	3.360,00	3.717,73
90	3.298,24	3.699,93

Analisis pengaruh perubahan beban terhadap *heat rate* digunakan untuk mencari tahu faktor apa saja yang mempengaruhi perubahan beban terhadap nilai *heat rate*. Disini peneliti mengambil nilai *NPHR* yang merupakan jumlah kalori bahan bakar untuk menghasilkan setiap kWh pembangkitan bersih

sebagai pembanding terhadap beban pembangkitan. Berikut ini hasil grafik dari perhitungan dan hubungan nilai beban terhadap *NPHR*.



Gambar 3. Grafik beban terhadap *NPHR*

Bila di analisa faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan beban terhadap nilai *NPHR* adalah sebagai berikut:

1. Seiring dengan naiknya beban maka nilai *heat rate* akan menurun. Hal ini dikarenakan *boiler* dan turbin uap pada PLTU beroperasi lebih efisien pada beban tinggi.
2. Kualitas batu bara yang digunakan juga mempengaruhi besaran nilai *heat rate*. Jika nilai kalor yang terkandung pada batu bara memiliki nilai yang tinggi maka akan dapat menghasilkan energi panas yang lebih besar. Bila batu bara yang digunakan dalam pembakaran dapat menghasilkan energi yang lebih besar per kilogram batu bara, maka penggunaan batu bara juga akan menurun.
3. Kondisi operasional PLTU juga mempengaruhi nilai *SFC*, seperti menjaga suhu dan tekanan uap yang optimal serta minimnya gangguan pada pengoperasian PLTU.

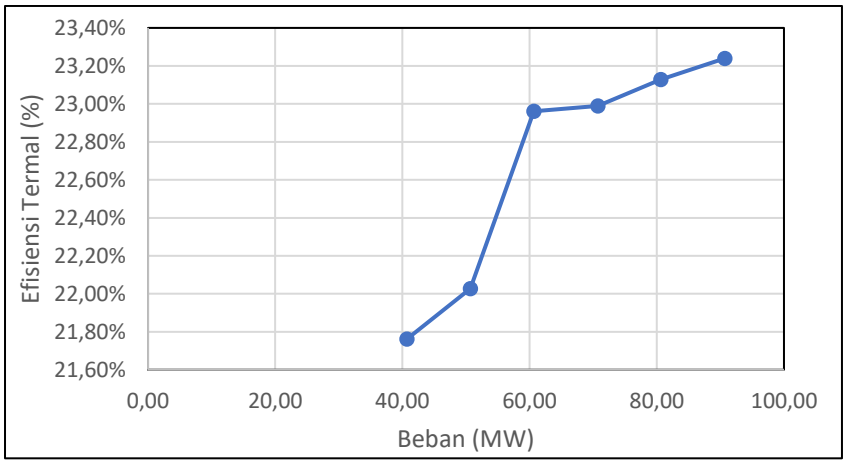
C. Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Efisiensi Termal

Untuk mendapatkan nilai efisiensi termal maka dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (5) seperti contoh perhitungan berikut. Untuk mencari nilai efisiensi termal maka dibutuhkan data *NPHR* yang ada pada tabel 3 dan nilai konversi 1 kWh ke kilo kalori yaitu sebesar 859,854 kkal. Didapatkan nilai efisiensi termal dari beban 40 MW hingga beban 90 MW seperti pada tabel 4.

Tabel 3. Hasil perhitungan efisiensi termal

Beban (MW)	efisiensi termal (%)
40	21,76
50	22,03
60	22,96
70	22,99
80	23,13
90	23,24

Efisiensi termal merupakan persentase antara energi yang dihasilkan dengan energi panas yang terpakai dalam suatu sistem dengan periode tertentu.



Gambar 3. Grafik beban terhadap efisiensi termal

Bila di analisa faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan beban terhadap efisiensi termal adalah sebagai berikut:

1. Semakin tinggi beban pembangkitan maka akan semakin tinggi efisiensi termal yang didapatkan. Hal ini dikarenakan *boiler* dan turbin uap pada PLTU beroperasi lebih efisien pada beban tinggi.
2. Kualitas batu bara yang digunakan juga mempengaruhi besaran efisiensi termal. Jika nilai kalor yang terkandung pada batu bara memiliki nilai yang tinggi maka akan dapat menghasilkan energi panas yang lebih besar. Bila batu bara yang digunakan dalam pembakaran dapat menghasilkan energi yang lebih besar per kilogram batu bara, maka penggunaan batu bara juga akan menurun. Hal ini juga mempengaruhi turunnya nilai *heat rate*, besaran nilai *heat rate* mempengaruhi besaran nilai efisiensi termal.
3. Kondisi operasional PLTU juga mempengaruhi efisiensi termal, seperti menjaga suhu dan tekanan uap yang optimal serta minimnya gangguan pada pengoperasian PLTU.

4. Kesimpulan

Telah diketahui nilai konsumsi batu bara (*SFC*), *heat rate* dan efisiensi termal terhadap perubahan pembebanan listrik pada PLTU Indoeka Unit 1. Perubahan pembebanan pada PLTU Indoeka Unit 1 mempengaruhi konsumsi batu bara, *heat rate* dan efisiensi termal. Semakin tinggi beban pembangkitan maka semakin rendah nilai *SFC*, semakin rendah nilai *heat rate* dan semakin tinggi efisiensi termal. Hal ini dikarenakan *boiler* dan turbin uap pada PLTU beroperasi lebih efisien pada beban tinggi. Kualitas batu bara yang digunakan juga mempengaruhi besaran nilai *SFC*, *heat rate* dan efisiensi termal. Jika nilai kalor yang terkandung pada batu bara memiliki nilai yang tinggi maka akan dapat menghasilkan energi panas yang lebih besar. Bila batu bara yang digunakan dalam pembakaran dapat menghasilkan energi yang lebih besar per kilogram batu bara, maka penggunaan batu bara juga akan menurun. Hal ini juga mempengaruhi turunnya nilai *heat rate*, besaran nilai *heat rate* mempengaruhi besaran nilai efisiensi termal. Kondisi operasional PLTU juga mempengaruhi *SFC*, *heat rate* dan efisiensi termal, seperti menjaga suhu dan tekanan uap yang optimal serta minimnya gangguan pada pengoperasian PLTU.

5. Daftar Pustaka

[1] Rahmad, Riki, “Geomorfologi Kalimantan Seri Geomorfologi Indonesia”, 3rd ed, Bukittinggi: STKIP Ahlussunnah Bukittinggi, 2015.

[2] Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur, “Rancangan Akhir Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Provinsi Kalimantan Timur Tahun 2018-2023,” Pemerintah Provinsi Kalimantan Timur. Kalimantan Timur, 2018.

[3] Kementrian Koordinator Bidang Perekonomian RI, “Siaran Pers HM.46/432/SET.M.EKON.3/11/2021 Upaya Penurunan Gas Rumah Kaca Melalui Langkah Strategis pada Sektor Kritikal Perubahan Iklim.” Republik Indonesia. Jakarta, 2021.

[4] Presiden republik Indonesia, "Undang-undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2016 Tentang Pengesahan Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Persarikatan Bangsa-bangsa Mengenai Perubahan Iklim", Jakarta: Presiden Republik Indonesia, 2016.

[5] Markori dan Idris, Zainuddin, "Analisis Produksi Energi Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara Dengan Matlab," Jurnal Teliska, vol.5, no. 2, pp. 61–67, Mei 2013.

[6] PT PLN (Persero), "Laporan Tahunan 2015 Annual Report 35 MW Untuk Indonesia," PT PLN (Pesero), Jakarta Selatan, 2015.

[7] Ghurri, Ainul, "Konsep Managemen Energi,". Denpasar: Jurusan Teknik Mesin-Universitas Udayana, 2016.

[8] Yudistira I.R, Nerry, "Analisis Konsumsi Batubara pada PLTU Tanjung Awar-awar Unit 1 dengan Menggunakan Metode Least Square,". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2015.

[9] Standar Operasi Pusat Listrik Tenaga Gas, SPLN 80 : 1989, 30 Agustus 1988.