

Analisis Variasi Pembebanan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pembangkit Batubara, Heat Rate dan Biaya Produksi Listrik di PLTU Asam Asam Unit 4

Ariyandi¹, Taqiyuddin², Diah Patriana S³

^{1,2,3} Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan
Jln. Pupuk Raya Gn. Bahagia Balikpapan 76114 INDONESIA

Abstract—The demand for electrical energy continues to increase every year, necessitating reliable and optimal power plants. This research aims to analyze the variation in loading on the specific fuel consumption of coal-fired power plants, heat rate, and electricity production costs at Asam-Asam Power Plant Unit 4. Operating at the best load will reduce electricity production costs and achieve efficient generation. The energy input-output analysis using commissioning data and performance test showed that the greater the load of the PLTU Asam Asam Unit, the better the performance, such as the thermal efficiency of 22.08% at a low load of 32 MW increased to 30.33% at a high load of 65 MW. The increase in plant performance is shown by a decrease in the heat rate, indicated by Gross Plant Heat Rate (GPHR) value of 3,890.10 kcal/kWh at low load drops to 3,108.94 kcal/kWh at high load. Lower fuel consumption results in cheaper electricity production costs, with the cost decreasing from Rp 478.46/kWh at a low load of 32MW to Rp 419.24/kWh at a high load of 65 MW.

Abstrak—Kebutuhan energi Listrik terus meningkat setiap tahunnya, sehingga diperlukan pembangkit listrik yang handal dan optimal. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis variasi pembebanan terhadap konsumsi bahan bakar spesifik pembangkit batubara, *heat rate* dan biaya produksi listrik di PLTU Asam Asam Unit 4. Pengoperasian pada beban terbaik akan mengurangi biaya produksi listrik dan memperoleh pembangkit yang efisien. Analisis energi input-output menggunakan data commissioning dan performance test menunjukkan bahwa semakin besar beban unit PLTU Asam Asam akan semakin baik kinerjanya yaitu efisiensi thermal 22,08% pada beban rendah 32 MW naik menjadi 30,33% pada beban tinggi 65 MW. Kenaikan kinerja pembangkit ditunjukkan dengan turunnya *heat rate*, yaitu nilai *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) 3890,10 kcal/kWh pada beban rendah turun menjadi 3108,94 kcal/kWh pada beban tinggi. Turunnya konsumsi bahan bakar akan membuat harga listrik yang dibangkitkan semakin murah, yaitu biaya pokok produksi sebesar Rp 478,46/kWh pada beban rendah 32 MW turun menjadi Rp 419,24/kWh pada beban tinggi 65 MW.

Kata Kunci— Biaya produksi Listrik, efisiensi, *heat rate*, SFC, variasi beban.

I. PENDAHULUAN

Pada Era Industri 4.0 ini kebutuhan energi merupakan kebutuhan yang sangat penting terutama energi listrik. Saat ini di Indonesia, kebutuhan energi listrik terus meningkat, terlihat dari pertumbuhan sektor industri dan rumah tangga yang semakin pesat. Mayoritas industri sangat bergantung pada listrik untuk menjalankan proses produksi dan operasionalnya.

Oleh sebab itu, guna memenuhi kebutuhan listrik, berbagai pembangkit listrik telah dibangun di Indonesia. jenis pembangkit listrik yang dimiliki oleh pemerintah adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), yaitu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari uap air untuk memutar turbin.

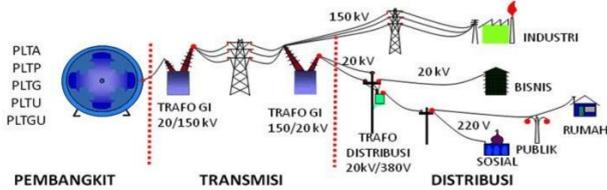
Pembangkit listrik tenaga uap bisa menggunakan bahan bakar padat, cair, atau gas. Karena tingginya biaya bahan bakar cair dan gas, PLTU berbahan bakar padat yang lebih ekonomis yaitu batu bara [1]. Namun, batu bara memiliki kelemahan yaitu menjadi sumber energi yang menyebabkan polusi karena kandungan karbonnya yang tinggi. Sumber energi utama lainnya, seperti minyak dan gas alam, menghasilkan polusi yang lebih rendah dibandingkan batu bara[2]. Salah satu indikator efisiensi suatu pembangkit adalah nilai *plant heat rate*. *Plant heat rate* yaitu jumlah energi (kJ/kkal) yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh energi listrik. Semakin rendah nilai *plant heat rate*, semakin efisien unit pembangkit tersebut [3].

Penelitian ini akan membahas variasi pembebanan dan jumlah bahan bakar yang digunakan pada unit pembangkit, serta menganalisis bagaimana Perubahan pembebanan dan jumlah batubara yang digunakan akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar spesifik, *heat rate*, dan efisiensi. Pengoperasian dibeban terbaik akan mengurangi biaya produksi listrik dan memperoleh pembangkit yang efisien. *Performance test* perlu dilakukan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar spesifik, *heat rate*, dan efisiensi [4].

Berdasarkan latar belakang tersebut perlu dilakukan analisis yang terkait dengan kinerja pembangkit, sehingga penulis mengambil judul “Analisis Variasi Pembebanan Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Pembangkit Batubara, Heat Rate Dan Biaya Produksi Listrik Di PLTU Asam Asam Unit 4” untuk mengetahui Konsumsi bahan bakar spesifik, *heat rate*, dan biaya produksi listrik serta membandingkan hasil data yang didapat.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem tenaga listrik didefinisikan sebagai kombinasi dari komponen-komponen peralatan listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran transmisi, saluran distribusi yang saling terhubung menjadi suatu system kelistrikan.



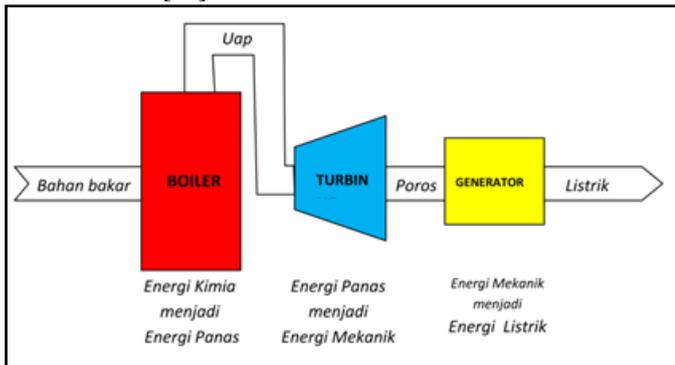
Gambar 1. Sistem Tenaga Listrik

A. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

Pembangkit listrik tenaga uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan uap air sebagai fluida kerjanya, yaitu dengan cara memanfaatkan energi kinetik uap air untuk memutar sudu-sudu turbin. Kemudian turbin dihubungkan dengan shaft generator, maka akan membangkitkan energi/tenaga listrik.

Dalam proses mengkonversi Energi pada PLTU ada tiga tahapan.

- Pertama, energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar dikonversi menjadi energi panas uap bertekanan dan temperature tinggi.
- Kedua, energi panas (uap) dikonversi menjadi energi mekanik.
- Ketiga, energi mekanik dikonversi menjadi energi listrik[10].



Gambar 2. Proses Konversi Energi Pada PLTU

B. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Spesifik fuel consumption (SFC) merupakan parameter yang terpenting dalam pengoperasian pembangkit dengan menunjukkan besarnya efisiensi pembangkit listrik dalam mengkonversi energi kimia ke energi mekanik. SFC ialah banyaknya batubara yang digunakan oleh unit pembangkit untuk memperoleh daya 1 kW selama satu jam (kg/kWh). Nilai SFC kondisi beban yang harus dilayani PLTU dan kualitas bahan bakar, dengan rendahnya nilai SFC maka semakin efisien penggunaan batubaranya[5].

Dari SPLN No. 80 tahun 1989, menggunakan persamaan berikut[12]:

1. Persamaan penggunaan bahan bakar spesifik bruto

$$SFC(b) = \frac{Q_f}{kWh(b)} \quad (1)$$

2. Persamaan penggunaan bahan bakar spesifik

netto

$$SFC(n) = \frac{Q_f}{kWh(b) - kWh(ps)} \quad (2)$$

C. Heat Rate

Heat Rate adalah indikator yang menunjukkan banyaknya energi yang digunakan dalam produksi energi listrik oleh generator. Tingginya heat rate, performa pembangkit dianggap semakin rendah. Sebaliknya, Kecilnya perolehan heat rate maka semakin baik performa suatu pembangkit[6].

Heat rate dibagi menjadi dua yaitu *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) dan *Nett Plant Heat Rate* (NPHR). Perhitungan heat rate memakai rumus yang berdasarkan SPLN No. 80 tahun 1989, persamaan berikut[13]:

1. Persamaan *Gross Plant Heat Rate*

$$GPHR = \frac{Q_f \times HHV}{kWh(b)} \quad (3)$$

2. Persamaan *Nett Plant Heat Rate*

$$NPHR = \frac{Q_f \times HHV}{kWh(n)} \quad (4)$$

D. Efisiensi Termal

Salah satu yang menentukan besarnya efisiensi yang dihasilkan oleh PLTU yaitu efisiensi termal. Efisiensi *thermal* diperoleh dengan perhitungan kalori dari batubara yang digunakan serta nilai heat rate dari boiler yang digunakan[14]. dari hasil perhitungan heat rate dengan pembebanan pembangkit yang bervariasi kemudian dilakukan perhitungan efisiensi thermal menggunakan persamaan, berikut[12]:

1. *Efisiensi Termal Bruto*

$$\eta_{thbruto} = \frac{859.845 \text{ kcal}}{GPHR} \times 100 \% \quad (5)$$

2. *Efisiensi Termal Netto*

$$\eta_{thnetto} = \frac{859.845 \text{ kcal}}{NPHR} \times 100 \% \quad (6)$$

E. Efisiensi Boiler

efisiensi mesin boiler adalah nilai kinerja boiler yang diperoleh dari perbandingan energi keluaran (output) dan energi yang masuk (input)[15].

Metodelogi ini disebut metode langsung/input – output sebab nilai efisiensinya diperoleh dari pembagian nilai keluaran/output (steam) dengan panas masuk/input (bahan bakar). Efisiensi boiler dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\eta_{boiler} = \frac{\text{Energi output}}{\text{Energi Input}} \times 100 \%$$

$$\eta_{boiler} = \frac{Q(hg-hf)}{q \times HHV} \times 100 \% \quad (7)$$

F. Biaya Produksi Listrik (BPL)

BPL yaitu jumlah biaya bahan bakar yang digunakan untuk memperoleh energi listrik 1 kWh Yang dipengaruhi dari konsumsi batubara spesifik serta harga dari batubara[1]. BPL diperoleh menggunakan persamaan berikut:

$$BPL = SFC(b) \times \frac{\text{Harga Batubara}}{kg} \quad (8)$$

III. METODE PENELITIAN

A. Metode Pengumpulan Data

Dari skripsi ini, Metode yang dilakukan dengan mengambil data-data pengoperasian tahun 2023 pada Divisi Perencanaan Pengendalian dan Operasi dan Divisi Energi Primer UBP Asam Asam, study literatur, observasi langsung dan wawancara.

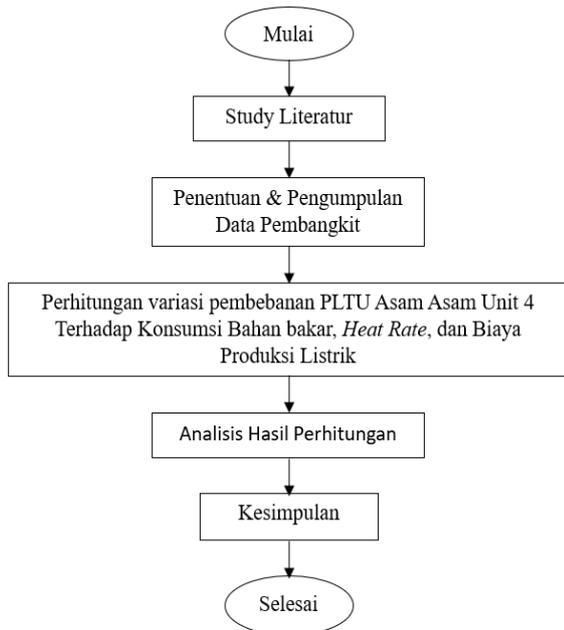
B. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang dipakai penulis dalam penelitian ini adalah:

- Laptop untuk pengambilan serta pengolahan data.
- Aplikasi steam tables untuk mencari nilai entalpi pada steam dan feedwater.

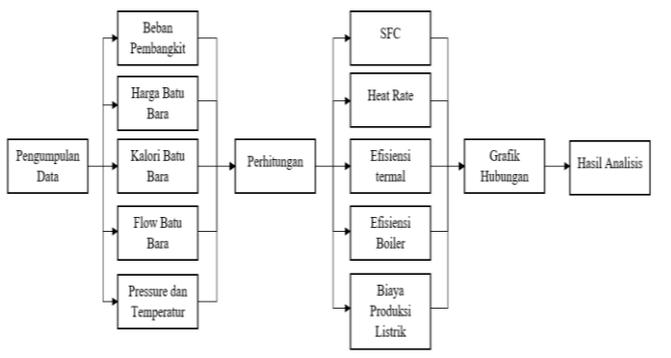
C. Jalannya Penelitian

diagram alir pada Gambar 3 menunjukkan proses jalannya penelitian.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Perhitungan dalam penelitian ini mengikuti alur seperti ditunjukkan pada Gambar 4



Gambar 4. Blok Diagram Perhitungan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Commisioning dan Performance Test

Data atau parameter *commisioning* dan *performance test* PLTU Asam Asam Unit 4, pada Tabel 1 sampai Tabel 5 berikut ini.

Tabel 1. Data Operasi Commisioning

Parameter	Nilai
Beban Gross (MW)	65,74
Beban <u>Pemakaian Sendiri</u> (MW)	5,79
Beban <u>Nett</u> (MW)	59,95
Coal Flow (t/h)	44,02
Main <u>Steam</u> Flow (t/h)	253,92
Main <u>Steam</u> Temperatur (°C)	534,37
Main <u>Steam</u> Pressure (bar)	8,97
Feed Water <u>Temperatur</u> (°C)	220,99
Feed Water Pressure (bar)	10,77

Tabel 2. Data Operasi Performance Test Beban 27 MW

Parameter	Nilai				
Beban Gross	27,38	27,02	26,68	27,02	26,83
Beban <u>Pemakaian Sendiri</u>	4,91	4,89	4,85	4,86	4,88
Beban <u>Nett</u>	22,47	22,13	21,83	22,16	21,95
Coal Flow	19,99	20,01	20,02	20,02	20,02
Main <u>Steam</u> Flow	109,52	109,48	109,53	109,77	109,91
Main <u>Steam</u> Temperatur	534,07	530,27	529,67	529,12	528,22
Main <u>Steam</u> Pressure	7,46	7,36	7,30	7,36	7,31
Feed Water <u>Temperatur</u>	147,17	147,01	147,01	147,01	147,44
Feed Water Pressure	8,16	8,06	7,99	8,06	8,01

Tabel 3. Data Operasi Performance Test Beban 34 MW

Parameter	Nilai				
Beban Gross	34,15	34,29	34,27	34,3	34,19
Beban <u>Pemakaian Sendiri</u>	5,46	5,48	5,45	5,45	5,44
Beban <u>Nett</u>	28,69	28,81	28,82	28,85	28,75
Coal Flow	26,13	26,14	26,13	26,14	26,13
Main <u>Steam</u> Flow	145,6	145,55	145,08	145,08	144,64
Main <u>Steam</u> Temperatur	532,67	532,67	532,67	532,3	532,32
Main <u>Steam</u> Pressure	7,3	7,3	7,27	7,27	7,25
Feed Water <u>Temperatur</u>	157,78	156,86	156,52	156,52	156,73
Feed Water Pressure	8,13	8,14	8,11	8,1	8,08

Tabel 4. Data Operasi Performance Test Beban 47 MW

Parameter	Nilai				
Beban Gross	47,65	47,50	47,40	47,30	47,65
Beban <u>Pemakaian Sendiri</u>	5,76	5,75	5,73	5,73	5,76
Beban <u>Nett</u>	41,89	41,75	41,67	41,57	41,89
Coal Flow	33,64	33,64	33,63	33,64	33,62
Main <u>Steam</u> Flow	193,28	193,00	192,67	192,14	192,42
Main <u>Steam</u> Temperatur	533,78	534,29	534,29	534,29	534,19
Main <u>Steam</u> Pressure	7,48	7,47	7,46	7,44	7,46
Feed Water <u>Temperatur</u>	160,84	160,72	160,80	160,90	161,00
Feed Water Pressure	8,76	8,74	8,72	8,70	8,72

Tabel 5. Data Operasi Performance Test Beban 60 MW

Parameter	Nilai				
Beban Gross	60,81	60,88	60,84	60,45	60,81
Beban <u>Pemakaian Sendiri</u>	6,09	6,09	6,08	6,07	6,09
Beban <u>Nett</u>	54,72	54,79	54,76	54,38	54,72
Coal Flow	41,41	41,39	41,38	41,39	41,39
Main Steam Flow	240,97	241,02	241,03	239,84	240,51
Main Steam <u>Temperatur</u>	534,78	534,78	534,33	536,14	537,68
Main Steam Pressure	8,58	8,58	8,58	8,54	8,58
Feed Water <u>Temperatur</u>	161,24	161,24	161,58	161,77	161,77
Feed Water Pressure	10,20	10,20	10,20	10,16	10,20

B. Perhitungan Data

1) Perhitungan SFC:

Berikut ini merupakan perhitungan *Specific Fuel Consumption* dengan persamaan 2.1 dan 2.2 pada data *Commisioning* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Asam Asam Unit 4

1. Specific Fuel Consumption Bruto:

Diketahui:

$$Q_f = 44,02 \text{ t/h} = 44.020 \text{ kg/h}$$

$$kWh(b) = 65,74 \text{ MW} = 65.740 \text{ kW}$$

$$SFC(b) = \frac{Q_f}{kWh(b)}$$

$$SFC(b) = \frac{44.020 \text{ kg/h}}{65.740 \text{ kW}} = 0,67 \text{ kg/kWh}$$

2. Specific Fuel Consumption Netto:

Diketahui:

$$Q_f = 44,02 \text{ t/h} = 44.020 \text{ kg/h}$$

$$kWh(b) = 65,74 \text{ MW} = 65.740 \text{ kW}$$

$$kWh(uat) = 5,79 \text{ MW} = 5.790 \text{ kW}$$

$$SFC(n) = \frac{Q_f}{kWh(b) - kWh(uat)}$$

$$SFC(n) = \frac{44.020 \text{ kg/h}}{65.740 \text{ kW} - 5.790 \text{ kW}} = \frac{44.020 \text{ kg/h}}{59.950 \text{ kW}} = 0,73 \text{ kg/kWh}$$

2) Biaya Produksi Listrik:

Dengan ini merupakan perhitungan BPL menggunakan persamaan 2.8 pada data *commissioning* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Asam Asam Unit 4.

$$BPL = SFC(b) \times \text{Harga Batubara}$$

$$SFC(b) = 0,67 \text{ kg/kWh}$$

$$\text{Harga Batubara} = 625,73 \text{ Rp/kg}$$

$$BPL = SFC(b) \times \text{Harga Batubara} = 0,67 \text{ kg/kWh} \times 625,73 \text{ Rp/kg} = 419,24 \text{ Rp/kWh}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan SFC Bruto dan SFC Netto

No	MWh Bruto	MWh Nett	Qf	SFC Bruto	SFC Netto	BPL
1	27,38	22,47	19,99	0,73	0,89	456,84
2	27,02	22,13	20,01	0,74	0,90	463,39
3	26,68	21,83	20,02	0,75	0,92	469,53
4	27,02	22,16	20,02	0,74	0,90	463,62
5	26,83	21,95	20,02	0,75	0,91	466,91
6	34,15	28,69	26,13	0,77	0,91	478,78
7	34,29	28,81	26,14	0,76	0,91	477,01
8	34,27	28,82	26,13	0,76	0,91	477,10
9	34,30	28,85	26,14	0,76	0,91	476,87
10	34,19	28,75	26,13	0,76	0,91	478,22
11	47,65	41,89	33,64	0,71	0,80	441,75
12	47,50	41,75	33,64	0,71	0,81	443,15
13	47,40	41,67	33,63	0,71	0,81	443,95
14	47,30	41,57	33,64	0,71	0,81	445,02
15	47,65	41,89	33,62	0,71	0,80	441,49
16	60,81	54,72	41,41	0,68	0,76	426,11
17	60,88	54,79	41,39	0,68	0,76	425,41
18	60,84	54,76	41,38	0,68	0,76	425,59
19	60,45	54,38	41,39	0,68	0,76	428,44
20	60,81	54,72	41,39	0,68	0,76	425,90

3) Perhitungan Heat Rate:

Berikut ini merupakan perhitungan *Gross Plant Heat Rate* menggunakan persamaan 2.3 dan *Nett Plant Heat Rate* menggunakan persamaan 2.4 pada data *Commisioning* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Asam Asam Unit 4.

1. Gross Plant Heat Rate.

Diketahui:

$$Q_f = 44,02 \text{ t/h} = 44.020 \text{ kg/h}$$

$$HHV = 4234 \text{ Kcal/kg}$$

$$kWh(b) = 65,74 \text{ MW} = 65.740 \text{ kW}$$

$$GPHR = \frac{Q_f \times HHV}{kWh(b)}$$

$$GPHR = \frac{44.020 \text{ kg/h} \times 4234 \text{ kcal}}{65.740 \text{ kW}} = \frac{109670 \text{ kW}}{65.740 \text{ kW}} = 2.835,12 \text{ kCal/kWh}$$

2. Nett Plant Heat Rate.

Diketahui:

$$Q_f = 44,02 \text{ t/h} = 44.020 \text{ kg/h}$$

$$GCV = 4234 \text{ Kcal/kg}$$

$$kWh(n) = 59,95 \text{ MW} = 59.950 \text{ kW}$$

$$NPHR = \frac{Q_f \times HHV}{kWh(n)}$$

$$NPHR = \frac{44.020 \text{ kg/h} \times 4.234 \text{ kcal}}{59.950 \text{ kW}} = 3108,94 \text{ kCal/kWh}$$

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan GPHR dan NPHR

4) Perhitungan Efisiensi Thermal:

Berikut ini merupakan perhitungan efisiensi *thermal* bruto menggunakan persamaan 2.5 dan efisiensi *thermal* netto

menggunakan persamaan 2.6 pada data *commisioning* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Asam Asam Unit 4.

1. Efisiensi *Thermal* Bruto

Diketahui:

GPHR = 2.832,12 kCal

$$\eta_{tbruto} = \frac{859,845 \text{ kcal}}{\text{GPHR}} \times 100 \% = \frac{859,845 \text{ kcal}}{2.835,12 \text{ kCal}} \times 100 \% = 0,3033 \times 100 \% = 30,33 \%$$

2. Efisiensi *Thermal* Netto

Diketahui:

NPHR = 3.108,94 kCal

$$\eta_{tnetto} = \frac{859,845 \text{ kcal}}{\text{NPHR}} \times 100 \% = \frac{859,845 \text{ kcal}}{3.108,94 \text{ kcal/kWh}} \times 100 \% = 0,2766 \times 100 \% = 27,66 \%$$

Tabel 7. Hasil Perhitungan Heat Rate dan $\eta_{thermal}$

No	Beban	Coal Flow	GPHR	NPHR	$\eta_{Tbrutto}$	η_{Tnetto}
1	27,38	19,99	3091,22	3766,70	27,82	22,83
2	27,02	20,01	3135,54	3828,39	27,42	22,46
3	26,68	20,02	3177,09	3882,94	27,06	22,14
4	27,02	20,02	3137,11	3825,12	27,41	22,48
5	26,83	20,02	3159,32	3861,72	27,22	22,27
6	34,15	26,13	3239,66	3856,20	26,54	22,30
7	34,29	26,14	3227,67	3841,61	26,64	22,38
8	34,27	26,13	3228,32	3838,81	26,63	22,40
9	34,30	26,14	3226,73	3836,28	26,65	22,41
10	34,19	28,75	3235,87	3848,15	26,57	22,34
11	47,65	33,64	2989,12	3400,14	28,77	25,29
12	47,50	33,64	2998,56	3411,54	28,68	25,20
13	47,40	33,63	3004,00	3417,07	28,62	25,16
14	47,30	33,64	3011,24	3426,31	28,55	25,10
15	47,65	33,62	2987,35	3398,12	28,78	25,30
16	60,81	41,41	2883,24	3204,13	29,82	26,84
17	60,88	41,39	2878,54	3198,49	29,87	26,88
18	60,84	41,38	2879,73	3199,47	29,86	26,87
19	60,45	41,39	2899,01	3222,61	29,66	26,68
20	60,81	41,39	2881,85	3202,58	29,84	26,85

5) Perhitungan Efisiensi Boiler:

Berikut merupakan perhitungan efisiensi dari boiler menggunakan persamaan 2.7 pada data *commisioning* Pembangkit Listrik Tenaga Uap Asam Asam Unit 4.

Diketahui:

Q = 253,92 t/h = 253.920 kg/h
 q = 44,02 t/h = 44.020 kg/h
 HHV = 4234 kCal/kg
 Press. Steam = 89,70 Bar
 Temp Steam = 534,37 °C
 Press Feed water = 107,70 Bar
 Temp Feed water = 220,99 °C

hg (entalpi steam) = 830,22 kCal/kg
 hf (entalpi feedwater) = 227,21 kCal/kg

$$\eta_{Boiler} = \frac{Q(hg-hf)}{q \times HHV} \times 100 \% = \frac{253.920 \text{ kg/h} (830,22 \text{ kCal} - 227,21 \text{ kCal})}{44.020 \text{ kg/h} \times 4234 \text{ kCal}} \times 100 \% = \frac{253.920 (603,01 \text{ kCal})}{186.380.680 \text{ kCal}} \times 100 \% = \frac{153.116.299,2}{186.380.680} \times 100 \% = 0,8215 \times 100 \% = 82,15 \%$$

Tabel 8. Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler

No	Beban	Steam flow	Coal Flow	η_{Boiler}
1	27,38	109,52	19,99	88,57
2	27,02	109,48	20,01	88,22
3	26,68	109,53	20,02	88,19
4	27,02	109,77	20,02	88,32
5	26,83	109,91	20,02	88,35
6	34,15	145,60	26,13	88,59
7	34,29	145,55	26,14	88,65
8	34,27	145,08	26,13	88,46
9	34,30	145,08	26,14	88,39
10	34,19	144,64	28,75	88,14
11	47,65	193,28	33,64	90,94
12	47,50	193,00	33,64	90,86
13	47,40	192,67	33,63	90,73
14	47,30	192,14	33,64	90,44
15	47,65	192,42	33,62	90,60
16	60,81	240,97	41,41	91,72
17	60,88	241,02	41,39	91,78
18	60,84	241,03	41,38	91,72
19	60,45	239,84	41,39	91,38
20	60,81	240,51	41,39	91,74

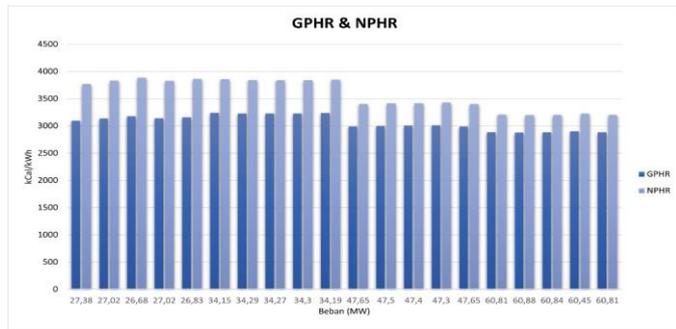
C. Grafik Dan Analisis

Berdasarkan perhitungan SFC data *Performance test*, maka didapatkan grafik SFC *Bruto* dan SFC *Netto* terhadap variasi pembebanan PLTU sebagai berikut:



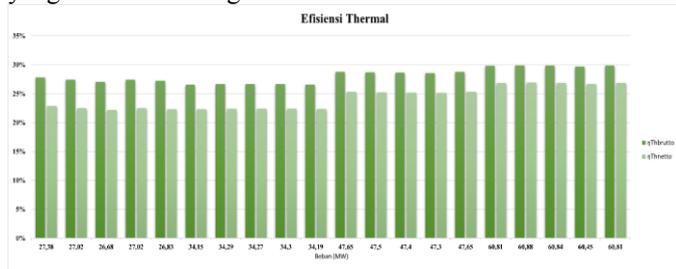
Gambar 5. Grafik SFC Bruto dan SFC Netto

Berdasarkan perhitungan *Heat Rate* data *Performance test*, maka didapatkan grafik *Gross Plant Heat Rate* & *Nett Plant Heat Rate* dengan variasi pembebanan pembangkit sebagai berikut:



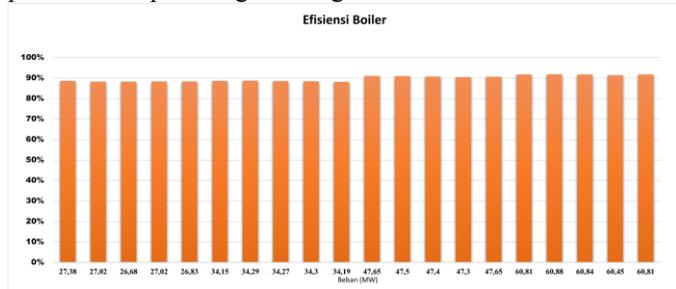
Gambar 6. Grafik Heat Rate

Berdasarkan perhitungan Efisiensi Thermal data Performance test, maka didapatkan grafik Efisiensi Thermal bruto & Efisiensi Thermal Netto terhadap nilai pembebanan yang bervariasi sebagai berikut:



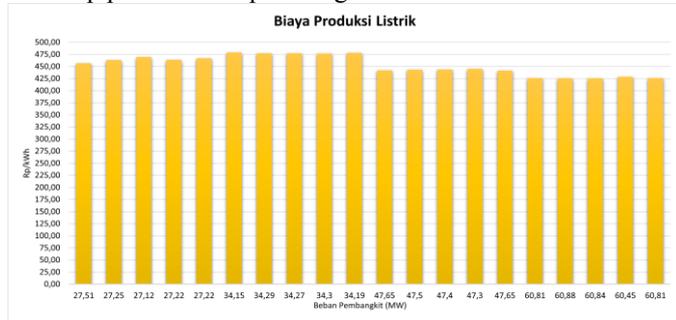
Gambar 7. Grafik Efisiensi Thermal

Berdasarkan perhitungan Efisiensi Boiler data Performance test, diperoleh grafik Efisiensi Boiler pada variasi pembebanan pembangkit sebagai berikut:



Gambar 8. Grafik Efisiensi Boiler

Berdasarkan hasil hitungan biaya produksi listrik data Performance test, didapatkan grafik biaya produksi listrik terhadap pembebanan pembangkit berikut:



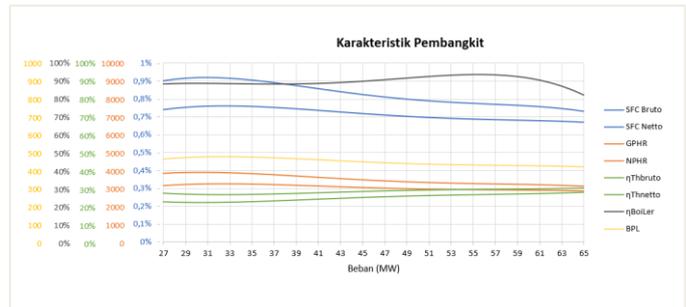
Gambar 9. Grafik Biaya Produksi Listrik

6) Perbandingan Commisioning dan Performance Test:

Setelah dilakukan perhitungan pada data performance test, selanjutnya penulis melakukan komparasi antara data commisioning dan data performance test dalam bentuk tabel dan grafik persamaan interpolasi berikut:

Tabel 9. Perbandingan data commisioning dan data performance test

No	Parameter	Satuan	Commisioning	Performance test			
				27	34	47	60
1	Beban	MW	65	27	34	47	60
2	SFC Bruto	Kg/kWh	0,67	0,74	0,76	0,71	0,68
3	SFC Netto	Kg/kWh	0,73	0,90	0,91	0,81	0,76
4	GPHR	kCal/kWh	2835,12	3140,06	3231,65	2998,05	2884,47
5	NPHR	kCal/kWh	3108,94	3832,97	3844,21	3410,64	3205,46
6	ηThbruto	%	30,33	27,39	26,61	28,68	29,81
7	ηThnetto	%	27,66	22,44	22,37	25,21	26,82
8	ηBoiler	%	82,15	88,33	88,45	90,71	91,67
9	BPL	Rp/kWh	419,24	464,06	477,60	443,07	426,29
			Rendah	Sedang	Tinggi		
			27 MW – 39 MW	40 MW – 52 MW	53 MW – 65 MW		



Gambar 1. Grafik interpolasi pembebanan

III. KESIMPULAN

Dari seluruh proses yang penulis lakukan, termasuk studi literatur dan perhitungan data commisioning serta data performance test secara teoritis, sehingga beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai SFC, heat rate, efisiensi dan biaya produksi listrik hasil interpolasi diperoleh pada pembebanan rendah dibandingkan dengan pembebanan tinggi nilai SFC bruto tertinggi 0,919% pada beban rendah 31 MW dan nilai SFC bruto terendah 0,730% pada beban tinggi 65 MW. GPHR tertinggi 3890,10 kCal/kWh pada beban rendah 30 MW dan GPHR terendah 3108,94 kCal/kWh pada beban tinggi 65 MW. Efisiensi thermal bruto terendah 26,55% pada beban rendah 32 MW dan efisiensi thermal bruto tertinggi 30,33% pada beban tinggi 65 MW. Efisiensi boiler terendah 88,29% pada beban rendah 37 MW sedangkan efisiensi boiler tertinggi 93,65% pada beban tinggi 55 MW. BPL tertinggi Rp 478,46/kWh pada beban rendah 32 MW sedangkan BPL terendah Rp 419,24/kWh pada beban tinggi 65 MW.
2. Dari hasil pembahasan didapatkan Performa PLTU semakin baik dengan Nilai SFC cenderung menurun apabila pembebanan listrik pembangkit lebih tinggi. Sebaliknya nilai SFC cenderung naik apabila pembebanan listrik pembangkit lebih rendah. Dengan naiknya pembebanan listrik pembangkit maka nilai GPHR dan NPHR cenderung turun, begitu juga sebaliknya. Nilai efisiensi thermal mengalami kenaikan seiring dengan naiknya pembebanan listrik pembangkit, begitu juga sebaliknya. Efisiensi boiler cenderung mengalami kenaikan seiring dengan naiknya pembebanan listrik pembangkit, begitu pula sebaliknya. Biaya produksi listrik cenderung mengalami penurunan seiring dengan naiknya pembebanan listrik pembangkit, begitu pula sebaliknya.

REFERENSI

- [1] Wahyono dan Teguh HM, "Penggunaan Mix Coal Terhadap Efisiensi Pembangkit Dan Biaya Produksi Listrik (Bpl) Di Pltu Tanjung Jati B Unit 3 Semarang," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 2, pp. 53–60, 2015.
- [2] L. Shintawaty, "Perbandingan Biaya Penggunaan Energi Bahan Bakar Batubara Dan Gas Pada Pembangkit Listrik," *J. Desiminasi Teknol.*, vol. 7, no. 2, pp. 99–108, 2019.
- [3] K. Komarudin, A. Saputro, dan E. Wahyuningsih, "Analisis Kenaikan Plant *Heat Rate* Pltu Sebelum Perbaikan Berkala Terhadap Kondisi Testing Komisioning (Studi Kasus : PLTU XX)," *Bina Tek.*, vol. 16, no. 1, p. 25, 2020, doi: 10.54378/bt.v16i1.1740.
- [4] E. Saputro dan A. Mursadin, "Analisis Efisiensi Turbin Uap UNIT 1 di PT.PJB UBJOM PLTU Pulang Pisau Kalimantan Tengah," vol. 3, no. 1, pp. 57–67, 2021.
- [5] I. D. Alber, B. Fajar, dan T. Kiono, "Analisis Pengaruh Perubahan Pembebanan Listrik Terhadap Konsumsi Spesifik Bahan Bakar Pembangkitan , *Heat Rate* dan Efisiensi pada Unit 1 PLTU Kendari-3," no. September 2022, 2021, doi: 10.14710/jebt.2022.13371.
- [6] S. A. Nainggolan, "Analisa Peningkatan Nilai Net Plant *Heat Rate* (NPHR) pada Unit 1 PLTU Tenayan 2 x 110 MW," vol. 8, no. 1, pp. 259–264, 2021.
- [7] L. A. Hamzah, "Analisa Pengaruh Produksi Energi Listrik Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) NII Tanasa," vol. 04, no. 02, pp. 1–5, 2019.
- [8] A. Samad, M. Keuangan, dan U. Fajar, "Analisis Biaya Produksi Listrik Per Kilo Watt Hour Pada PLTU Barru," vol. I, pp. 1–9.
- [9] S. S. Wibowo, *Analisa Sistem Tenaga*. POLINEMA PRESS, 2018.
- [10] Murdani, Erwin, E. Yendri, H. Siregar, P. Aliyani, dan M. Mawardi, "Pembidangan Prajabatan S1 - Enjiner Pembangkit *Thermal*," vol. no.1, 2013.
- [11] M. miftah noor Rizca, Q. Sholihah, dan S. Mujiarto, "Analisis Beban Generator Terhadap Nilai *Heat Rate* dan Efisiensi PLTU," vol. 3, no. 2, pp. 73–84, 2018.
- [12] H. Tirta Lianda *et al.*, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Terhadap Performa di Unit 2 PLTU X," *Pros. Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 1208–1215, 2019, [Online]. Available: <http://semnas.mesin.pnj.ac.id>.
- [13] A. A. Nugroho, "Analisa Pengaruh Kualitas Batubara Terhadap Biaya Pembangkitan (Studi Kasus di PLTU Rembang)," vol. 7, no. 1, pp. 23–32, 2014.
- [14] N. Budianto, K. H. Kwee, dan A. Hiendro, "Analisa Pengaruh Laju Kalor Terhadap Efisiensi Termal PLTU Sintang (3 X 7 MW)," no. 80, 1989.
- [15] I. Muzaki dan A. Mursadin, "Analisis Efisiensi *Boiler* Dengan Metode Input – Output Di PT . Japfa Comfeed Indonesia Tbk . Unit Banjarmasin," vol. 4, no. 1, pp. 37