

METODE *DIRECT* UNTUK MENGETAHUI NET PLANT HEAT RATE UNIT #2 PLTU REMBANG PADA SAAT OVERHAUL UNIT #1

Harfani Satria¹⁾, Muhamad Haddin²⁾, Agus Adhi Nugroho³⁾
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung
Jl. Kaligawe Raya Km.4, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112, Indonesia
E-mail ¹⁾: tria.alfata@gmail.com
E-mail ²⁾: haddin@unissula.ac.id
E-mail ³⁾: agusadhi@unissula.ac.id

Abstrak

Ketersediaan energi listrik di sistem Jawa-Bali di dukung oleh beberapa pusat pembangkit listrik melalui jalur transmisi voltase tinggi 150 kV dan voltase ekstra tinggi 500 kV untuk berlangsungnya ketersediaan energi listrik secara andal dan terus-menerus. PLTU Rembang memiliki 2 unit yaitu unit #1 (#20) dan unit #2 (#10) yang memasok sistem transmisi 150 kV. Performa unit sangat menentukan dalam pemenuhan tersebut. Pusat Pengatur Beban (P2B) akan memilih pembebanan PLTU berdasarkan merit order. Merit order adalah tingkat prioritas suatu pembangkit termal untuk di dispatch dalam suatu sistem. Hal ini disebabkan oleh net plant heat rate (NPHR) dan harga bahan bakar. Akibat yang terjadi pada pembangkit dengan peringkat merit order rendah akan diprioritaskan turun beban terlebih dahulu atau naik beban paling akhir. NPHR merupakan salah satu indeks kinerja pembangkit termal. Semakin rendah NPHR maka semakin tinggi efisiensi pembangkit tersebut. Permasalahan yang terjadi dalam penentuan NPHR PLTU Rembang saat 2 unit beroperasi adalah kurang akurat karena beban listrik pemakaian sendiri masing-masing unit tidak berasal seluruhnya dari gross output generatornya, melainkan juga dibebankan oleh unit yang satunya. Terutama untuk pemakaian unit common seperti water treatment plant (WTP), desalination plant serta coal & ash handling plant karena di suplai oleh salah satu unit. Solusinya dengan mencari nilai NPHR ketika salah satu unit shutdown, agar dapat diketahui nilai NPHR yang lebih akurat.

Penelitian ini membahas tentang penggunaan metode direct untuk mencari NPHR pada unit #2 PLTU Rembang ketika unit #1 sedang overhaul. Metode direct adalah metode input-output yang hanya memerlukan bahan bakar sebagai input dan daya listrik sebagai output. Batubara yang digunakan adalah jenis low rank coal (LRC) senilai 4200–4500 kcal dan medium rank coal (MRC) senilai 4500–4800 kcal. Gross output generator memiliki rated power 300 MW sedang daya untuk pemakaian sendiri memiliki rated power 50 MVA. Nilai NPHR ditentukan dengan menghitung perkalian konsumsi dan nilai kalori batubara dibagi terhadap nett output generator. Nett output generator ditentukan dengan mengurangi gross output generator terhadap daya pemakaian sendiri Trafo Universal Auxiliary Transformer.

Hasil menunjukkan bahwa NPHR memiliki nilai paling rendah jika unit berbeban maksimum 300 MW gross. Dari hasil perhitungan didapati bahwa pada beban rata-rata 299,5 MW hingga 302,4 MW gross, NPHR rata-rata pada unit #2 ketika overhaul lebih rendah dibanding dengan data PLN Puslitbang Januari 2017 yaitu masing-masing 2.544,34 kcal/kWh dan 2.788 kcal/kWh. Demikian pula NPHR unit #2 sebelum dan sesudah overhaul unit #1 masing-masing 2.497 kcal/kWh dan 2.688 kcal/kWh. Sedang faktor-faktor yang menentukan nilai NPHR antara lain pembebanan listrik, nilai kalor bahan bakar serta pemakaian listrik untuk keperluan sendiri.

Kata kunci: Nett Plant Heat Rate, Direct Methode, PLTU

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengoperasian PLTU Rembang unit 2 (#10) dapat dikatakan handal dan efisien berdasarkan hasil performa atau unjuk kerja pembangkit. Performa PLTU berpengaruh terhadap heat rate pada perubahan beban. Heat rate atau tara kalor adalah kalor yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu kWh. Nilai heat rate meningkat dengan semakin bertambah umur suatu pembangkit, sedang efisiensi akan semakin menurun dengan bertambahnya umur pembangkit. Analisa dari heat rate PLTU penting dilakukan untuk mengetahui apakah sesuai dengan spesifikasi dan untuk pemantauan kemampuan

umur suatu pembangkit, dimana semakin tua umur pembangkit maka unjuk kerja semakin turun. Selanjutnya sebagai bahan perencanaan pemeliharaan suatu pembangkit listrik [1]. Permasalahan yang timbul dalam penentuan NPHR ketika 2 unit PLTU beroperasi adalah kurang akurat karena beban pemakaian sendiri masing-masing unit tidak seluruhnya berasal dari gross output generatornya. Pembebanan pembangkit termal terdapat sistem merit order guna mengetahui peringkat pembangkit dengan biaya untuk menghasilkan energi listrik terendah. Sehingga pembangkit dengan peringkat merit order rendah akan diprioritaskan turun beban terlebih dahulu atau naik beban paling akhir. Hal ini

dipengaruhi oleh net plant heat rate (NPHR) dan harga bahan bakar. Ketika NPHR kecil maka biaya pembangkitan listrik juga akan lebih rendah [2].

Akibat dari permasalahan tersebut maka diperlukan perhitungan dan analisis NPHR ketika salah satu unit shut down. Maka dilakukan analisa NPHR unit 2 (#10) pada PLTU Rembang ketika unit 1 (#20) sedang simple inspection (overhaul) pada bulan Juli 2019. Nilai NPHR ditentukan dengan menghitung nilai kalori batubara dibagi terhadap nett output generator menggunakan *direct* method. Metode *direct* digunakan pada penelitian ini karena hanya memerlukan data pemakaian batubara, nilai kalor bahan bakar serta produksi energi listrik. Net output generator ditentukan dengan mengurangi gross output generator terhadap daya pemakai sendiri.

Solusi dari permasalahan tersebut adalah dilakukan perhitungan net plant heat rate (NPHR) unit #2 PLTU Rembang yang berdasarkan pengujian oleh PT PLN (Persero) Puslitbang pada Januari 2017 untuk NPHR unit #2 pada beban gross 300 MW, 255 MW, 225 MW dan 150 MW adalah masing-masing 2788 kcal/kWh, 2811 kcal/kWh, 2845 kcal/kWh, 2788 kcal/kWh [3]. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini membahas tentang metode *direct* untuk mengetahui net plant heat rate unit #2 PLTU Rembang ketika simple inspection (overhaul) unit #1.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka didapatkan inti masalah yang diselesaikan pada penelitian ini:

1. Bagaimana perbandingan *net plant heat rate* (NPHR) unit #2 dibanding dengan hasil perhitungan PLN Puslitbang saat unit #1 dan #2 beroperasi?
2. Pada kondisi bagaimana *net plant heat rate* (NPHR) unit #2 memiliki nilai terendah?
3. Faktor apa saja yang memengaruhi *net plant heat rate* (NPHR)?

1.3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Pembangkit yang ditinjau adalah PLTU Rembang unit #2 kapasitas mapu 300 MW gross.
2. Pembebanan disesuaikan dengan permintaan Pelaksana Pengatur Beban (P2B).
3. Perhitungan NPHR menggunakan metode *direct* yaitu bahan bakar sebagai energi input dan daya listrik sebagai energi output.
4. Penelitian ini tidak membahas secara detail mengenai harga batubara dan penjualan energi listrik.
5. Standar pembandingan yang digunakan dalam penelitian ini adalah hasil perhitungan PLN Puslitbang pada saat unit #1 dan #2 beroperasi.

1.4. Tujuan

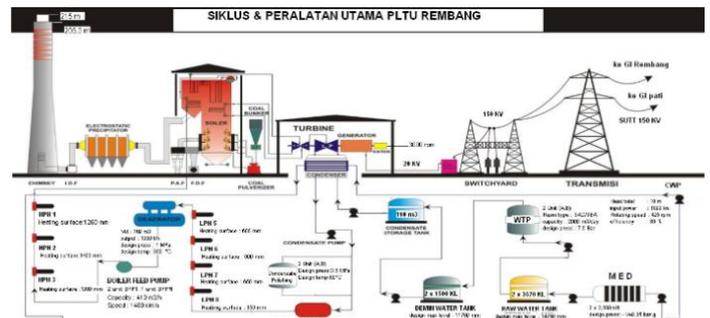
Maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui *net plant heat rate* (NPHR) PLTU Rembang unit #2 dibandingkan data PLN Puslitbang
2. Mencari *net plant heat rate* (NPHR) terendah guna mengetahui efisiensi uit optimal.
3. Mengamati faktor-faktor yang memengaruhi *nilai net plant heat rate* (NPHR)

II. LANDASAN TEORI

2.1. Pusat Listrik Tenaga Uap

Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis unit pembangkit listrik termal dengan fluida kerja uap dalam proses produksi listriknya.



Gambar 2.1. Siklus PLTU batubara

Proses ini melalui beberapa tahap menggunakan peralatan penunjang seperti air baku untuk diproses menjadi uap yang kebutuhannya cukup banyak, oleh karena itu pada umumnya PLTU dibangun di dekat laut. Di samping memudahkan mendapatkan air baku untuk diolah menjadi air tawar, air laut juga digunakan sebagai media pendingin peralatan utama dan bantu serta memudahkan sarana transportasi bahan bakar. Peralatan utama pada sebuah unit PLTU antara lain: Boiler, Turbin Uap, Generator dan Kondenser.

PLTU sebagai pembangkit termal sesuai Gambar 2.1 dengan media kerja uap memerlukan bahan bakar (energi kimia) untuk menghasilkan energi panas melalui proses pembakaran di boiler.

Energi panas merubah fase air menjadi uap, uap panas ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik oleh turbin dan lebih lanjut energi mekanik diubah menjadi energi listrik oleh generator yang seporos dengan turbin. Uap hasil kerja mekanis kemudian diembunkan kembali oleh kondenser menjadi air pengisi pada siklus tertutup [4].

2.2. Pengenalan Energi

Energi didefinisikan sebagai kapasitas sistem tubuh untuk melakukan pekerjaan mekanis. Pemanfaatan dan kontrol energi pada dasarnya menentukan produktivitas dan kemajuan gaya hidup masyarakat. Energi disimpan di alam dalam beberapa bentuk seperti bahan bakar fosil (batu bara, minyak bumi, dan gas alam), radiasi sinar matahari dan dalam bentuk pasang surut air laut, hidro, angin, panas bumi dan nuklir.

Energi di alam tidak disimpan dalam bentuk listrik. Namun, energi listrik mudah ditransmisikan dalam jarak

yang sangat jauh dan memenuhi kebutuhan pelanggan melalui kontrol yang memadai. Lebih dari 40% energi diubah menjadi energi listrik sebelum digunakan, sebagian besar melalui generator listrik yang mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Kerja dan energi memiliki unit yang identik [5].

Unit dasar energi adalah 1 Joule, yang merepresentasikan kerja gaya 1 Newton dalam menggerakkan benda melalui jarak 1 meter sepanjang arah gaya, sesuai persamaan (1).

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Newton} \times 1 \text{ meter} \quad (1)$$

Tenaga listrik adalah laju energi listrik, dan unit dasarnya adalah 1 Watt = 1 Joule/detik. Energi listrik lebih umum diukur dalam kilowatt-jam (kWh), sesuai persamaan (2).

$$1 \text{ kW} = 3,6 \times 10^6 \text{ Joule} \quad (2)$$

Energi termal biasanya diukur dalam kalori (cal). Menurut definisi, 1 cal adalah jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 1 gram air dari 15° Celcius menjadi 16° Celcius. Kilokalori (kcal) bahkan lebih umum (1 kcal = 10³ cal).

Karena energi adalah konsep terpadu, seperti yang diharapkan, joule dan kalori berbanding lurus seperti persamaan (3) hingga (5):

$$1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ Joule} \quad (3)$$

Unit yang lebih besar untuk energi termal adalah British thermal unit (BTU):

$$1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J} = 252 \text{ cal} \quad (4)$$

Unit yang masih lebih besar adalah quad (quadrillion BTU):

$$1 \text{ quad} = 10^{15} \text{ BTU} = 1,55 \times 10^{18} \text{ Joule} \quad (5)$$

2.3. Metode Langsung Sebagai Perhitungan Heat Rate

Heat rate mengukur seberapa efisien pembangkit termal mengubah energi panas menjadi energi listrik. Energi panas diukur dalam kcal. Heat rate mengukur jumlah energi panas (kcal) yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 kWh listrik. Di dunia yang sempurna, pembangkit yang membakar 0,86 kcal batubara akan menghasilkan 1 kWh listrik, akan tetapi kebanyakan energi panas hilang pada proses dan tidak semua diubah ke listrik [6].

Net Plant Heat Rate dapat dihitung dengan persamaan (6):

$$\text{NPHR} = (B \times \text{HHV}) \div \text{Net GGO} \quad (6)$$

dengan:

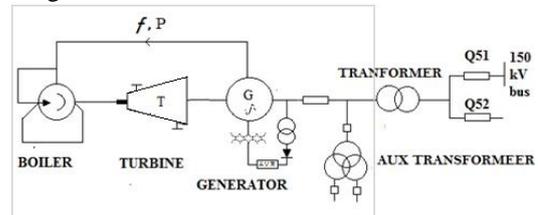
- B = jumlah pemakaian batubara (kg)
- HHV = nilai kalori batubara per kg (kcal/kg)
- Net GGO = selisih gross generator output dengan UAT
- UAT = pemakaian listrik keperluan

III. Metode Penelitian

3.1. Model Penelitian

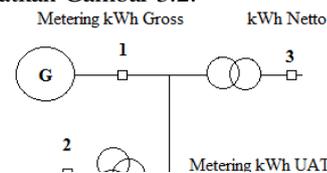
Penelitian ini mengambil lokasi di PLTU Rembang yang berlokasi pada Jl. Raya Semarang-Surabaya Km. 130 Kec. Sluke, Kab. Rembang, Jawa Tengah. Unit

PLTU yang akan dipilih untuk dianalisis adalah unit #2 pada PT PJB UBJOM Rembang. Dengan pentingnya mengetahui net plant heat rate (NPHR) ketika unit #1 shutdown maka akan dilakukan analisis NPHR pada unit #2 PLTU Rembang. Gambar 3.1 menunjukkan daerah perhitungan NPHR.



Gambar 3.1. Model Penelitian

Ruang lingkup penelitian dalam penentuan net plant heat rate (NPHR) unit #2 meliputi boiler, turbin-generator dan trafo UAT. Sebelum ditransfer menuju boiler, batubara akan digerus di dalam pulverizermil menjadi serbuk halus berukuran 200 mesh (74 microns) kemudian dengan bantuan Primary Air Fan ditransport menuju ruang bakar untuk menghasilkan uap pegerak utama turbin-generator. Pembebanan unit #2 sesuai permintaan PLN Pusat Pengatur Beban (P2B), kWh meter gross menunjukkan nilai luaran generator sebelum trafo UAT. Counter kWh dan kVAR gross berada pada ruang Central Control Room (CCR) sedang counter kWh dan kVAR UAT untuk pemakaian sendiri berada di panel MV Room lokal turbin. KWh meter UAT mencatat beban untuk pemakai sendiri seperti compessor, pompa, fan dan peralatan unit common plant. Sedang kWh netto merupakan selisih antara kWh meter goss terhadap kWh meter UAT. Diagram satu garis counter kWh meter pada unit #2 dipelihatkan Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Single Line Diagram Pencatatan kWh meter

Luaran generator memiliki voltase sebesar 20 kV, kemudian oleh main trafo dinaikkan menjadi 150 kV untuk ditransmisikan ke gardu induk (GI). Sedangkan trafo UAT merupakan jenis step down transformer yang mengubah nilai voltase dari 20 kV menjadi 6,3 kV untuk pemakaian sendiri.

3.2. Metode Direct

Penelitian dalam mengetahui nilai net plant heat rate (NPHR) pada unit #2 PLTU Rembang dipilih metode langsung (*direct* metode). Pengambilan data produksi energi listrik menggunakan energi meter (kWh meter) yang terpasang di unit, meliputi produksi energi gross dan produksi energi netto. Pemakaian energi gross dicatat pada komputer DCS Central Control Room (CCR) sedang konsumsi energi untuk pemakaian sendiri dicatat dari kWh meter trafo UAT (unit auxiliary transformer)

sedangkan pemakaian energi untuk pemakaian peralatan common (seperti Coal & Ash Handling System dan Water Treatment Plant dicatat dari kWh meter trafo SST (Station Service Transformer).

Peralatan common bekerja untuk 2 unit pembangkit, sehingga pemakaian common masing-masing unit adalah pemakaian SST dibagi dengan kedua unit yang beroperasi. Dalam penelitian ini, dikarenakan unit #20 shutdown maka pemakaian SST berasal dari unit #10. Pengukuran pemakaian bahan bakar diperoleh dari pencatatan totalizer counter pada semua coal feeder yang beroperasi. Pengambilan data di peroleh dari pencatatan operator di lokal maupun di CCR (Central Control Room).

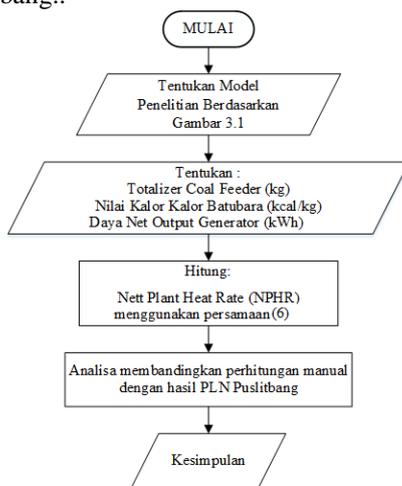
Setelah mendata masing-masing bahan bakar dan daya listrik, dilakukan analisis NPHR menggunakan metode *direct* untuk mengetahui unjuk kerja unit #2. Kemudian dilakukan perbandingan dengan nilai NPHR yang dilakukan oleh PT PLN Puslitbang. Dari hasil perhitungan oleh PT PLN Puslitbang diperoleh hasil NPHR yang akan dijabarkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Hasil Perhitungan PLN Puslitbang Unit #2

Pembebanan (Load Setting Gross)		Hasil Pengukuran			Hasil Analisa Lab	Hasil Perhitungan
		Konsumsi Bahan Bakar	Energi Gross	Energi Netto	Nilai Kalor HHV-Ar	NPHR
%	MW	kg	MWh	MWh	kcal/kg	kcal/kWh
50	150	109.510	153	137	4.042	3.229
75	225	146.291	225	211	4.047	2.811
85	255	163.920	255	239	4.149	2.845

3.3. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan. Gambar 3.3 menunjukkan alur penelitian yang ditempuh untuk mengetahui net plant heat rate (NPHR) unit #2 PLTU Rembang..



Gambar 4. Diagram alur penelitian

Gambar 3.3 merupakan langkah penelitian yang ditempuh. Berikut adalah penjabaran tahapan yang dilalui:

Tahap I

Dilakukan penentuan model penelitian dari PLTU Rembang untuk memetakan objek permasalahan. Model tersebut secara umum mencakup boiler, turbin-generator serta main & auxiliary trafo.

Tahap II

Meliputi pengumpulan data penelitian melalui laporan operasi harian produksi PLTU Rembang unit #2 untuk mengetahui totalizer batubara, nilai kalor batubara serta totalizer net kWh generator.

Tahap III

Meliputi pengolahan data dan analisis perhitungan net plant heat rate (NPHR) unit #2.

Tahap IV

Meliputi evaluasi dan analisa dari hasil pengujian net plant heat rate (NPHR). Kemudian membandingkan nilai hasil perhitungan dengan PLN Puslitbang.

Tahap V

Meliputi penyusunan kesimpulan dari hasil analisa yang telah dilakukan.

IV. HASIL DAN ANALISIS

4.1. Penentuan Data

Dengan merujuk model penelitian Gambar 3.1 dan data hasil perhitungan NPHR oleh PLN Puslitbang Unit #2 pada Tabel 3.1 maka penelitian pada Bab IV ini akan dilakukan analisis perhitungan net plant heat rate (NPHR) dengan metode *direct* pada unit #2 PLTU Rembang. Analisis yang dibahas pada bab IV ini meliputi input data pada operasi PLTU Rembang menggunakan laporan operasi harian (LOH) pembangkit yang disusun oleh operator produksi.

Laporan harian operasi pada Tabel 4.1 hingga Tabel 4.3 tersusun data yang diperoleh pada shift pagi diawali pukul 6:00 hingga 14:00 yang meliputi konsumsi batubara (kg), nilai kalor bahan bakar batubara (kcal/kg), produksi energi listrik neto (kWh) serta beban gross generator (kWh). Pemilihan tanggal tersebut dimaksudkan untuk memastikan bahwa semua konsumsi daya peralatan common plant berasal dari unit #2.

Pengambilan data produksi energi meter (kWh meter) yang terpasang di unit, meliputi produksi energi gross, produksi energi netto. Konsumsi energi untuk pemakaian sendiri dicatat dari kWh meter trafo UAT (unit auxiliary transformer). Pengukuran pemakaian bahan bakar diperoleh dari pencatatan totalizer counter pada semua coal feeder yang beroperasi saat pengujian. Pencatatan pemakaian listrik untuk keperluan sendiri berada di main voltage (MV) room turbin pada busbar A dan B. Sedangkan pencatatan nilai daya gross generator berada pada central control room (CCR). Untuk penentuan nilai kalor batubara pada penelitian ini menggunakan HHV (higher heating value) yang diperoleh dari hasil uji laboratorium.

Berdasarkan data tersebut maka dilakukan perhitungan net plant heat rate (NPHR) pada PLTU Rembang unit #2 pada saat, sebelum dan setelah unit #1 shutdown. Setelah diperoleh hasil maka akan dilakukan analisis serta membandingkan hasil tersebut dengan PLN Puslitbang ketika kedua unit beroperasi.

Tabel 4.1. Data Produksi Unit #2 saat Unit #1 saat Overhaul

No	Tanggal	Totalizer Coal Feeder (kg) (B)	Kalor Batubara (kcal/kg) (HHV)	Produksi Energi Net (kWh) (Net GGO)	Beban Gross (MW)
1	07-Jul-19	1.481.430	4.380,61	2.264.387,56	301,3
2	08-Jul-19	1.474.230	4347,64	2.271.966,45	301,4
3	09-Jul-19	1.276.970	4.218,71	2.272.009,77	301,8
4	10-Jul-19	1.316.000	4.220,30	2.256.622,08	300,1
5	11-Jul-19	1.329.570	4.290,60	2.265.935,09	301,4
6	12-Jul-19	1.324.890	4.358,44	2.274.798,63	301,4
7	13-Jul-19	1.270.300	4.258,13	2.264.836,22	301,1
8	14-Jul-19	782.940	4.362,44	1.155.978,05	160,1
9	15-Jul-19	1.357.900	4.260,92	2.258.198,05	300,3
10	16-Jul-19	1.348.800	4.219,47	2.254.057,17	300,3
11	17-Jul-19	1.250.980	4.218,06	2.209.697,31	293,6
12	18-Jul-19	1.314.149	4.326,41	2.267.744,38	301,3
13	19-Jul-19	1.288.730	4.323,65	2.262.967,63	299,6
14	20-Jul-19	1.407.750	4.351,16	2.265.953,36	300,3
15	21-Jul-19	1.382.700	4.327,00	2.257.281,41	299,9
16	22-Jul-19	1.370.150	4.207,98	2.258.515,47	299,9
17	23-Jul-19	1.298.560	4.477,12	2.262.990,17	299,3
18	24-Jul-19	1.291.880	4.213,98	2.266.645,91	301,5
19	25-Jul-19	1.340.220	4.281,25	2.265.644,06	300,8
20	26-Jul-19	1.210.880	4.217,26	2.255.998,48	301,5
21	27-Jul-19	1.317.490	4.594,00	2.263.789,67	301,9
22	28-Jul-19	1.349.610	4.356,57	2.154.037,57	289,4

Tabel 4.2. Data Produksi Unit #2 sebelum Overhaul Unit #1

No	Tanggal	Totalizer Coal Feeder (kg) (B)	Kalor Batubara (kcal/kg) (HHV)	Produksi Energi Net (kWh) (Net GGO)	Beban Gross (MW)
1	01-Jun-19	1.207.850	4.060,96	1.902.158	252,8
2	02-Jun-19	1.151.430	4269,4	1.804.096	241,8
3	03-Jun-19	1.303.749	4.061,61	2.055.370	273,9
4	04-Jun-19	1.279.239	4.061,44	2.047.786	275,4
5	05-Jun-19	1.028.240	4.223,99	1.768.773	235,6
6	06-Jun-19	1.229.380	4.216,96	2.277.253	300,1
7	07-Jun-19	1.139.590	4.224,14	2.017.621	265,9
8	08-Jun-19	1.187.280	4.297,86	2.052.595	269,6
9	09-Jun-19	1.184.580	4.257,03	1.933.652	256,1
10	10-Jun-19	1.309.340	4.258,77	2.221.660	292,7
11	11-Jun-19	1.063.590	4.093,27	1.846.630	245,5
12	12-Jun-19	1.430.211	4.274,18	2.308.056	302,4
13	13-Jun-19	1.415.770	4.228,96	2.277.423	300,3
14	14-Jun-19	1.397.500	4.364,73	2.279.923	300,1
15	15-Jun-19	1.219.719	4.108,22	2.287.680	281,7
16	16-Jun-19	1.330.410	4.390,74	2.276.950	299,6
17	17-Jun-19	1.328.440	4.130,60	2.261.069	298,1
18	18-Jun-19	1.335.790	4.147,40	2.277.304	300,7
19	19-Jun-19	1.179.860	4.343,24	2.273.727	299,9
20	20-Jun-19	1.344.350	4.053,41	2.275.611	300,1
21	21-Jun-19	1.446.290	4.358,76	2.248.328	298,5
22	22-Jun-19	1.502.260	4.339,56	2.276.816	300,1
23	23-Jun-19	1.281.930	4.481,31	1.981.912	282,9
24	24-Jun-19	1.417.440	4.479,80	2.260.743	297,7
25	25-Jun-19	1.407.720	4.480,54	2.402.361	298
26	26-Jun-19	1.329.620	4.453,38	2.271.490	299,7
27	27-Jun-19	1.329.180	4.334,69	2.285.462	301,2
28	28-Jun-19	1.280.770	4.135,38	2.288.830	300,7
29	29-Jun-19	1.308.500	4.056,72	2.290.499	301,8
30	30-Jun-19	1.259.010	4.360,12	2.291.456	301,9

Tabel 4.3. Data Produksi Unit #2 setelah Overhaul Unit #1

No	Tanggal	Totalizer Coal Feeder (kg) (B)	Kalor Batubara (kcal/kg) (HHV)	Produksi Energi Net (kWh) (Net GGO)	Beban Gross (MW)
1	20-Agu-19	1.381.890	4.221,77	2.248.387	299,9
2	21-Agu-19	1.388.150	4.339,99	2.265.722	301,6
3	22-Agu-19	1.385.900	4.328,40	2.253.814	300,8
4	23-Agu-19	1.299.182	4.264,66	2.198.731	293,9
5	24-Agu-19	1.279.072	4.304,95	2.243.531	299,8
6	25-Agu-19	1.365.950	4.325,50	2.197.995	295,4
7	26-Agu-19	1.479.720	4.479,87	2.228.706	298
8	27-Agu-19	1.474.290	4.216,92	2.216.653	296,2
9	28-Agu-19	1.467.600	4.328,74	2.237.061	299,1
10	29-Agu-19	1.431.110	4.191,36	2.244.514	300,4
11	30-Agu-19	1.385.800	4.266,75	2.232.028	297,9
12	31-Agu-19	1.374.420	4.239,08	2.251.755	300,5
13	01-Sep-19	1.068.920	4.236,55	1.625.169	220,2
14	02-Sep-19	1.475.660	4.355,12	2.235.241	299,5
15	03-Sep-19	1.367.170	4.237,59	2.244.914	300,5
16	04-Sep-19	1.417.350	4.238,65	2.244.328	299,9
17	05-Sep-19	1.547.680	4.388,73	2.243.938	298,9
18	06-Sep-19	1.409.260	4.249,00	2.233.311	299,1
19	07-Sep-19	1.459.480	4.358,48	2.247.022	300,2
20	08-Sep-19	1.466.840	4.354,24	2.247.239	300,3
21	09-Sep-19	1.490.660	4.302,00	2.245.955	284,2
22	10-Sep-19	1.403.630	4.358,28	2.245.012	300,5
23	11-Sep-19	765.600	4.594,00	1.083.116	150,6
24	12-Sep-19	1.381.100	4.394,83	2.246.305	300,1
25	13-Sep-19	1.410.220	4.284,91	2.247.916	301
26	14-Sep-19	1.407.290	4.285,25	2.250.356	299,5
27	15-Sep-19	1.287.780	4.363,34	2.016.374	270,8
28	16-Sep-19	1.616.880	3.924,48	2.220.504	295,9
29	17-Sep-19	1.477.540	4.358,11	2.389.650	300,3
30	18-Sep-19	1.485.690	4.354,51	2.241.840	300,1
31	19-Sep-19	1.447.680	4.387,64	2.232.109	298,9
32	20-Sep-19	1.395.910	4.432,86	2.243.556	299,9

4.2. Hasil NPHR

Metode *direct* digunakan untuk mencari nilai *net plant heat rate* (NPHR) pada Tabel 2 hingga Tabel 4.1 menggunakan persamaan (6) berikut:

$$\text{NPHR} = B \times \text{HHV} / \text{Net GGO}$$

Untuk NPHR pada 7 Juli 2019 sebagai berikut:

$$= \frac{(1.481.430 \text{kg} \times 4.380,61 \text{kcal/kg})}{2.264.387,56 \text{kWh}}$$

$$= 2.865,93 \text{ kcal/kWh}$$

Sedang perhitungan NPHR Unit #2 saat unit #1 overhaul (OH), sebelum dan setelahnya disajikan pada Tabel 4.4 hingga Tabel 4.6.

Tabel 4.4. Hasil NPHR unit #2 saat Unit #1 Overhaul

No	Tanggal	Totalizer Coal Feeder (kg) (B)	Kalor Batubara (kcal/kg) (HHV)	Produksi Energi Net (kWh) (Net GGO)	NPHR (kcal/kWh)	Beban Gross (MW)
1	07-Jul-19	1.481.430	4.380,61	2.264.388	2865,93	301,3
2	08-Jul-19	1.474.230	4.347,64	2.271.966	2821,09	301,4
3	09-Jul-19	1.276.970	4.218,71	2.272.010	2371,1	301,8
4	10-Jul-19	1.316.000	4.220,30	2.256.622	2461,16	300,1
5	11-Jul-19	1.329.570	4.290,60	2.265.935	2517,57	301,4
6	12-Jul-19	1.324.890	4.358,44	2.274.799	2538,45	301,4
7	13-Jul-19	1.270.300	4.258,13	2.264.836	2388,3	301,1
8	14-Jul-19	782.940	4.362,44	1.155.978	2954,67	160,1
9	15-Jul-19	1.357.900	4.260,92	2.258.198	2562,18	300,3
10	16-Jul-19	1.348.800	4.219,47	2.254.057	2524,88	300,3
11	17-Jul-19	1.250.980	4.218,06	2.209.697	2387,98	293,6
12	18-Jul-19	1.314.149	4.326,41	2.267.744	2507,14	301,3
13	19-Jul-19	1.288.730	4.323,65	2.262.968	2462,26	299,6
14	20-Jul-19	1.407.750	4.351,16	2.265.953	2703,21	300,3
15	21-Jul-19	1.382.700	4.327,00	2.257.281	2650,51	299,9
16	22-Jul-19	1.370.150	4.207,98	2.258.515	2552,81	299,9
17	23-Jul-19	1.298.560	4.477,12	2.262.990	2569,08	299,3
18	24-Jul-19	1.291.880	4.213,98	2.266.646	2401,77	301,5
19	25-Jul-19	1.340.220	4.281,25	2.265.644	2532,54	300,8
20	26-Jul-19	1.210.880	4.217,26	2.255.998	2263,56	301,5
21	27-Jul-19	1.317.490	4.594,00	2.263.790	2673,64	301,9
22	28-Jul-19	1.349.610	4.356,57	2.154.038	2729,61	289,4

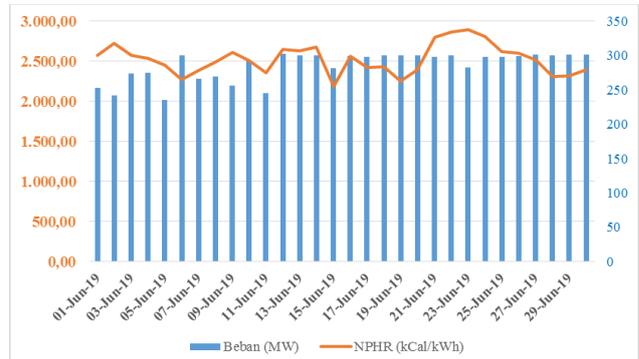
Tabel 4.5. Hasil NPHR Unit #2 sebelum Overhaul Unit #1

No	Tanggal	Totalizer Coal Feeder (kg)	Kalor Batubara (kcal/kg) (HHV)	Produksi Energi Net (kWh) (Net GGO)	NPHR (kcal/kWh)	Beban Gross (MW)
1	01-Jun-19	1.207.850	4.060,96	1.902.158	2578,67	252,8
2	02-Jun-19	1.151.430	4.269,4	1.804.096	2724,87	241,8
3	03-Jun-19	1.303.749	4.061,61	2.055.370	2576,33	273,9
4	04-Jun-19	1.279.239	4.061,44	2.047.786	2537,16	275,4
5	05-Jun-19	1.028.240	4.223,99	1.768.773	2455,53	235,6
6	06-Jun-19	1.229.380	4.216,96	2.277.253	2276,53	300,1
7	07-Jun-19	1.139.590	4.224,14	2.017.621	2385,87	265,9
8	08-Jun-19	1.187.280	4.297,86	2.052.595	2486,01	269,6
9	09-Jun-19	1.184.580	4.257,03	1.933.652	2607,91	256,1
10	10-Jun-19	1.309.340	4.258,77	2.221.660	2509,92	292,7
11	11-Jun-19	1.063.590	4.093,27	1.846.630	2357,57	245,5
12	12-Jun-19	1.430.211	4.274,18	2.308.056	2648,54	302,4
13	13-Jun-19	1.415.770	4.228,96	2.277.423	2628,95	300,3
14	14-Jun-19	1.397.500	4.364,73	2.279.923	2675,4	300,1
15	15-Jun-19	1.219.719	4.108,22	2.287.680	2190,38	281,7
16	16-Jun-19	1.330.410	4.390,74	2.276.950	2565,49	299,6
17	17-Jun-19	1.328.440	4.130,60	2.261.069	2426,84	298,1
18	18-Jun-19	1.335.790	4.147,40	2.277.304	2432,73	300,7
19	19-Jun-19	1.179.860	4.343,24	2.273.727	2253,75	299,9
20	20-Jun-19	1.344.350	4.053,41	2.275.611	2394,61	300,1
21	21-Jun-19	1.446.290	4.358,76	2.248.328	2803,88	298,5
22	22-Jun-19	1.502.260	4.339,56	2.276.816	2863,27	300,1
23	23-Jun-19	1.281.930	4.481,31	1.981.912	2898,58	282,9
24	24-Jun-19	1.417.440	4.479,80	2.260.743	2808,74	297,7
25	25-Jun-19	1.407.720	4.480,54	2.402.361	2625,48	298
26	26-Jun-19	1.329.620	4.453,38	2.271.490	2606,79	299,7
27	27-Jun-19	1.329.180	4.334,69	2.285.462	2520,97	301,2
28	28-Jun-19	1.280.770	4.135,38	2.288.830	2314,05	300,7
29	29-Jun-19	1.308.500	4.056,72	2.290.499	2317,49	301,8
30	30-Jun-19	1.259.010	4.360,12	2.291.456	2395,61	301,9

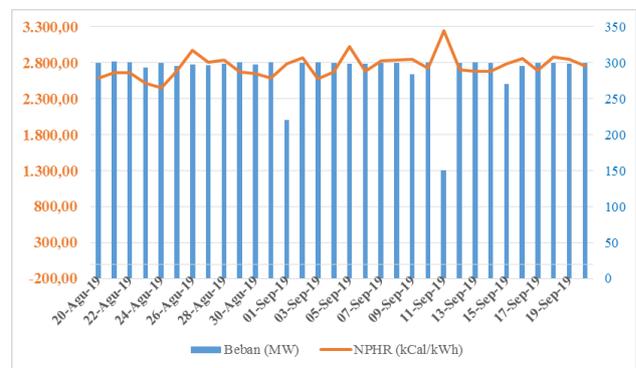
Tabel 4.6. Hasil NPHR Unit #2 setelah Overhaul Unit #1

No	Tanggal	Totalizer Coal Feeder (kg)	Kalor Batubara (kcal/kg) (HHV)	Produksi Energi Net (kWh) (Net GGO)	NPHR (kcal/kWh)	Beban Gross (MW)
1	20-Agu-19	1.381.890	4.221,77	2.248.387	2594,76	299,9
2	21-Agu-19	1.388.150	4.339,99	2.265.722	2659	301,6
3	22-Agu-19	1.385.900	4.328,40	2.253.814	2661,59	300,8
4	23-Agu-19	1.299.182	4.264,66	2.198.731	2519,89	293,9
5	24-Agu-19	1.279.072	4.304,95	2.243.531	2454,32	299,8
6	25-Agu-19	1.365.950	4.325,50	2.197.995	2688,09	295,4
7	26-Agu-19	1.479.720	4.479,87	2.228.706	2974,35	298
8	27-Agu-19	1.474.290	4.216,92	2.216.653	2804,66	296,2
9	28-Agu-19	1.467.600	4.328,74	2.237.061	2839,83	299,1
10	29-Agu-19	1.431.110	4.191,36	2.244.514	2672,42	300,4
11	30-Agu-19	1.385.800	4.266,75	2.232.028	2649,1	297,9
12	31-Agu-19	1.374.420	4.239,08	2.251.755	2587,44	300,5
13	01-Sep-19	1.068.920	4.236,55	1.625.169	2786,5	220,2
14	02-Sep-19	1.475.660	4.355,12	2.235.241	2875,16	299,5
15	03-Sep-19	1.367.170	4.237,59	2.244.914	2580,72	300,5
16	04-Sep-19	1.417.350	4.238,65	2.244.328	2676,81	299,9
17	05-Sep-19	1.547.680	4.388,73	2.243.938	3026,98	298,9
18	06-Sep-19	1.409.260	4.249,00	2.233.311	2681,2	299,1
19	07-Sep-19	1.459.480	4.358,48	2.247.022	2830,91	300,2
20	08-Sep-19	1.466.840	4.354,24	2.247.239	2842,14	300,3
21	09-Sep-19	1.490.660	4.302,00	2.245.955	2855,27	284,2
22	10-Sep-19	1.403.630	4.358,28	2.245.012	2724,89	300,5
23	11-Sep-19	765.600	4.594,00	1.083.116	3247,27	150,6
24	12-Sep-19	1.381.100	4.394,83	2.246.305	2702,08	300,1
25	13-Sep-19	1.410.220	4.284,91	2.247.916	2688,12	301
26	14-Sep-19	1.407.290	4.285,25	2.250.356	2679,84	299,5
27	15-Sep-19	1.287.780	4.363,34	2.016.374	2786,7	270,8
28	16-Sep-19	1.616.880	3.924,48	2.220.504	2857,65	295,9
29	17-Sep-19	1.477.540	4.358,11	2.389.650	2694,66	300,3
30	18-Sep-19	1.485.690	4.354,51	2.241.840	2885,78	300,1
31	19-Sep-19	1.447.680	4.387,64	2.232.109	2845,7	298,9
32	20-Sep-19	1.395.910	4.432,86	2.243.556	2758,07	299,9

Grafik 4.1. Pengaruh Beban terhadap NPHR Unit #2 Saat OH Unit #1



Grafik 4.2. Pengaruh Beban terhadap NPHR Unit #2 sebelum OH Unit #1



Grafik 4.3. Pengaruh Beban terhadap NPHR Unit #2 setelah OH Unit #1

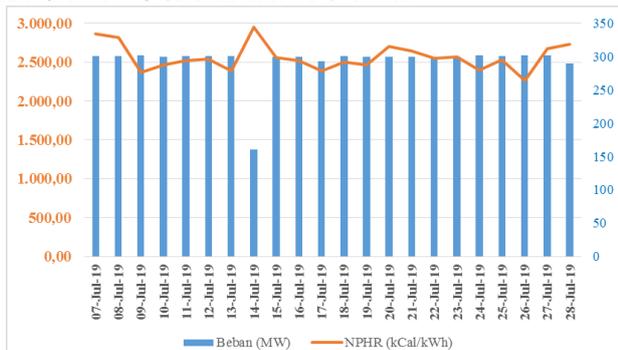
Sesuai dengan Tabel 4.4 didapati bahwa NPHR tertinggi pada beban 160,1 MW dengan nilai 2.954,67 kcal/kWh (14 Juli 2019), dan nilai NPHR paling rendah terdapat pada beban 301,5 MW sebesar 2263,56 kcal/kWh (26 Juli 2019).

Pada Tabel 4.5 didapati bahwa NPHR tertinggi pada beban 282,9 MW dengan nilai 2.898,58 kcal/kWh (23 Juni 2019), dan nilai NPHR paling rendah terdapat pada beban 300,1 MW sebesar 2.276,53kcal/kWh (6 Juni 2019).

Tabel 4.6 didapati bahwa NPHR tertinggi pada beban 150,6 MW dengan nilai 3.247,27 kcal/kWh (11 September 2019), dan nilai NPHR paling rendah terdapat pada beban 299,8 MW sebesar 2.454,32kcal/kWh (24 Agustus 2019).

4.3. Hubungan antara Pembebanan dengan Heat Rate

Pembebanan pembangkit sangat memengaruhi hasil NPHR unit #2, semakin tinggi pembebanan atau unit melayani daya mampu maksimum maka nilai NPHR cenderung rendah demikian juga sebaliknya. Hal ini dapat dilihat pada Grafik 4.1 saat unit #1 overhaul. Fenomena ini terdapat pula pada Grafik 4.2 sebelum unit #1 overhaul dan Grafik 4.3 setelah unit #1 overhaul.



4.4. Hubungan antara Bahan Bakar terhadap Pembebanan

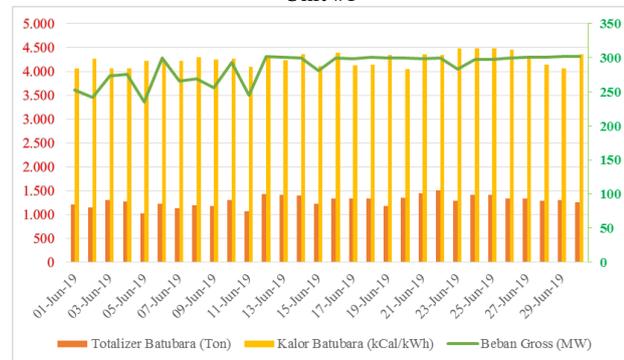
Nilai kalor dan konsumsi batubara yang digunakan dalam PLTU sangat berpengaruh terhadap pelayanan beban seperti yang diperlihatkan pada Grafik 4.4 hingga Grafik 4.6.

Jumlah batubara (Ton) untuk membangkitkan beban (MW) berbanding terbalik dengan kandungan nilai kalor bahan bakar (kcal). Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar, maka jumlah batubara yang dibakar akan

cenderung lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang lebih rendah, demikian pula sebaiknya.



Grafik 4.4. Pengaruh Batubara terhadap Beban Unit #2 Saat OH Unit #1



Grafik 4.5. Pengaruh Batubara terhadap Beban Unit #2 sebelum OH Unit #1



Grafik 4.6. Pengaruh Batubara terhadap Beban Unit #2 setelah OH Unit #1

Sesuai Tabel 4.4 pada beban 301,5 MW, tanggal 24 Juli menunjukkan konsumsi batubara sebesar 1.291 Ton dengan nilai kalor 4.213,98 kcal/kg, sedang tanggal 26 Juli konsumsi 1.210 Ton dengan nilai kalor 4.217,26 kcal/kWh.

Pada Tabel 4.5 pada beban 301,8 MW, tanggal 29 Juni menunjukkan konsumsi batubara sebesar 1.308 Ton dengan nilai kalor 4.056,72 kcal/kg, sedang tanggal 30 Juni pada beban 301,9 MW konsumsi batubara sebesar 1.259,01 Ton dengan nilai kalor 4.360,12 kcal/kWh.

Tabel 4.6 pada beban 300,4 MW, tanggal 29 Agustus menunjukkan konsumsi batubara sebesar

1.431,11 Ton dengan nilai kalor 4.191,36 kcal/kg, sedang tanggal 3 September pada beban 300,5 MW konsumsi 1.367,17 Ton dengan nilai kalor 4.237,59 kcal/kWh.

4.5. Perbandingan dengan Hasil PLN Puslitbang

Berdasarkan Tabel 4.4 hingga Tabel 4.6 serta Grafik 4.1 hingga 4.3 diperoleh perbandingan terhadap hasil uji heat rate PLN Puslitbang bulan Januari 2017 lalu pada beban 150 MW, 225 MW, 255 MW dan 300 MW gross. Karena pembebanan pada PLTU Rembang pada penelitian unit #2 di bulan Juni hingga September 2019 sesuai permintaan P2B, maka akan dipilih data yang sesuai pada hasil uji Puslitbang.

Saat unit #1 overhaul, beban unit #2 sebesar 299,6 MW hingga 301,5 MW diperoleh hasil rerata NPHR senilai 2.544,34 kCal/kWh. Hasil ini lebih rendah dibanding data Puslitbang sebesar 2.788 kcal/kWh ketika kedua unit beroperasi. Hal ini berlaku pula untuk NPHR sebelum dan sesudah unit #1 overhaul, yaitu pada pembebanan unit #2 sebesar 299,5 MW hingga 302,4 MW diperoleh hasil rerata NPHR masing-masing 2.497 kCal/kWh dan 2.688 kCal/kWh.

4.6. Faktor yang Memengaruhi NPHR

Berdasarkan hasil penelitian pada unit #2 PLTU Rembang, terdapat faktor-faktor yang menentukan nilai NPHR antara lain pembebanan daya listrik, nilai kalor bahan bakar serta pemakaian daya listrik untuk keperluan sendiri. Selain faktor utama tersebut terdapat faktor lain yang berpengaruh, antara lain pola pembebanan yang diberikan oleh P2B, akurasi alat ukur serta gangguan unit.

V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan pada PLTU Rembang unit #2 didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada beban rata-rata 299,5 MW hingga 302,4 MW gross, NPHR rata-rata pada unit #2 ketika overhaul lebih rendah dibanding dengan data PLN Puslitbang Januari 2017 yaitu masing-masing 2.544,34 kcal/kWh dan 2.788 kcal/kWh. Demikian pula NPHR unit #2 sebelum dan sesudah overhaul unit #1 masing – masing 2.497 kCal/kWh dan 2.688 kCal/kWh.
2. Hasil perhitungan didapat bahwa rata-rata NPHR terendah pada beban maksimum >299,5 MW gross, sehingga bila PLTU Rembang dioperasikan pada beban tersebut maka efisiensi terbesar tercapai.
3. Faktor-faktor yang menentukan nilai NPHR antara lain pembebanan listrik, nilai kalor bahan bakar serta pemakaian listrik untuk keperluan sendiri.

5.2. Saran

Berdasarkan pengalaman dilapangan, kesulitan yang dihadapi antara lain:

1. Ketepatan input data dari lokal tidak selalu on time bila terdapat gangguan. Operator lapangan akan menetralsir gangguan terlebih dahulu. Sehingga hal ini dapat memengaruhi nilai perhitungan penelitian. Maka diperlukan penarikan counter lokal ke DCS dari counter totalizer coal feeder dan kWh meter UAT sehingga input data bisa lebih cepat dan akurat.
2. Data yang diinput terbatas pada pembebanan yang diperintahkan oleh P2B, tidak seperti pengujian yang dilakukan PLN Puslitbang yang dapat dilakukan pada beban 50%, 75%, 85% dan 100%. Hendaknya penelitian dari PLN Puslitbang perlu dilakukan lagi sebagai benchmark terbaru untuk memperbarui data tahun 2017 yang lalu.
3. Melakukan perhitungan net plant heat rate (PLTU) ketika salah satu unit shutdown pada beban 50%, 75%, 85% dan 100% untuk mengetahui performa 1 unit sebenarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Sugiantoro, "Metode Analisis Energy Perhitungan Metode Direct and Indirect (Heat Rate/Tara Kalor) Bahan Bakar Batu Bara dan Pengaruhnya pada Performance Sistem Uap," *ITEKS STT Wiwiorotomo*, vol. 2, no. 3, hal. 250, 2008.
- [2] S. Arif Wibowo, "Mengapa Realisasi Kinerja NPHR (Nett Pllant Heat Rate) Pembangkit Selalu Lebih Tinggi dari Commisioning?," *Linkedin*, 2018. <https://id.linkedin.com/pulse/mengapa-realisis-kinerja-nphr-nett-plant-heat-rate-listrik-wibowo> (diakses Jun 30, 2020).
- [3] PT PLN (Persero) PUSLITBANG, "Pengujian Heat Rate PLTU Rembang Unit 10," Rembang, 2017.
- [4] PJB Power Plant Academy, *Pengenalan PLTU*. 2015.
- [5] I. Boldea, "Synchronous Generator," 2 ed., Taylor & Francis Group, LLC, 2016, hal. 1.
- [6] J. Sierman, B. Shelide, dan L. Jantarasami, "Updates to Carbon Dioxide (CO₂) Standards-Phase 2," Oregon, 2018.
- [7] B. Sugiantoro, "Metode Analisis Energy Perhitungan Metode Direct and Indirect (Heat Rate/Tara Kalor) Bahan Bakar Batu Bara dan Pengaruhnya pada Performance Sistem Uap," *ITEKS STT Wiwiorotomo*, vol. 2, no. 3, hal. 261–262, 2008.