

HEAT RATE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PAITON BARU (UNIT 9) BERDASARKAN PERFORMANCE TEST TIAP BULAN DENGAN BEBAN 100%

Sahid, Budhi Prasetyo

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin

Politeknik Negeri Semarang

Jl.Prof.H.Sudarto,S.H., Tembalang, Semarang, 50275, PO BOX 6199/SMS

Telp. (024)7473417, 7499585, Faks. (024) 7472396

<http://www.polines.ac.id>, e-mail :sekretariat@polines.ac.id

ABSTRAK

Heat rate adalah ukuran keandalan dari suatu unit pembangkit. Heat rate didefinisikan sebagai jumlah energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kwh. Tujuan penelitian ini adalah menentukan heat rate suatu unit pembangkit PLTU Paiton Baru (Unit 9) berdasarkan performance test tiap bulan, dari bulan November 2014 hingga Maret 2015. Heat rate dapat ditentukan dengan mengetahui efisiensi boiler metode kerugian panas dan heat rate turbin. Parameter data untuk menentukan nilai heat rate didapatkan dari analisa laboratorium dan ruang kontrol PLTU Paiton Baru (Unit 9). Dari data tersebut dilakukan pengolahan data untuk menentukan nilai heat rate berdasarkan performance test tiap bulan dari bulan November 2014 hingga bulan Maret 2015 pada beban yang sama yaitu sebesar 659 MW. Dari hasil penelitian maka didapatkan Diagram Batang Heat Loss dan Efisiensi Boiler Beban Penuh terhadap waktudan Diagram heat rate terhadap waktu. Dari kedua tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut Efisiensi boiler tertinggi terjadi pada 26 November 2014 dengan efisiensi sebesar 85,689 %. Sedangkan efisiensi boiler terendah yaitu sebesar 83,280 % terjadi pada 12 Maret 2015. heat rate terendah (terbaik) yaitu 2.500,811 kcal/kWh terjadi pada tanggal 13 Januari 2015. Sedangkan heat rate tertinggi terjadi pada tanggal 11 Desember 2014 yaitu sebesar 2.658,098kcal/kWh.

Kata kunci : *heat rate*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas uap bertekanan tinggi untuk memutar turbin sehingga dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik melalui generator. Uap panas bertekanan tersebut berasal dari perubahan fase air yang terjadi di boiler akibat mendapatkan energi panas dari hasil pembakaran bahan bakar. PLTU Paiton unit 9 adalah salah satu PLTU yang menggunakan uap sebagai pembangkit listriknya. PLTU Paiton unit 9 menggunakan 2 jenis bahan bakar yaitu minyak HSD (High Speed Diesel) sebagai bahan bakar untuk penyalaan (start up), sedangkan untuk proses produksi energi listriknya PLTU Paiton Unit 9 menggunakan bahan bakar batubara. Batubara yang digunakan adalah batubara jenis low rank coal yang memiliki nilai kalori ± 4200 kcal/kg. Dengan kebutuhan batubara 2,7 juta ton/tahun.

Pada setiap bulan tanpa terjadwal waktu PLTU Paiton Unit 9 dilakukan performance test oleh bagian pengendalian dan perencanaan operasional (Rendal Ops). Performance test tersebut dilakukan untuk mengetahui heat rate

melalui metode input-output, juga heat rate melalui metode efisiensi boiler. Selain mengetahui efisiensi boiler, dalam performance test juga untuk mengetahui turbine heat rate, heat rate pembangkit. Heat rate melalui metode input – output dilakukan untuk menentukan proses transaksi niaga pembelian energi listrik sehingga pihak PLN dapat mematok harga untuk setiap kWh energi listrik yang diproduksi dari PLTU Paiton Unit 9. Harga listrik ini bervariasi untuk masing-masing pembangkit dan listrik dengan biaya produksi yang lebih murah (harga setiap kWh yang lebih murah) maka akan dijadikan pembangkit beban dasar yang akan terus beroperasi sepanjang waktu dan jika terjadi kenaikan beban maka akan mendapatkan jatah beban terlebih dahulu dari pihak Unit Penyaluran dan Pusat Pengaturan Beban (UP3B). Oleh sebab itu maka perlu dihitung nilai heat rate sepanjang tahun pada setiap bulannya.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Proses Produksi Listrik PLTU

PLTU Paiton Unit 9 berlokasi di Desa Bhinor, Kecamatan Paiton, Kabupaten Probolinggo, berada di atas lahan seluas 42 ha, berdampingan dengan kompleks PLTU Paiton Unit 1-8. PLTU ini berkapasitas 1 x 660 MW, dioperasikan menggunakan bahan bakarkalori rendah (*low rank coal*) dengan nilai kalor (± 4200 kCal/kg), dengan kebutuhan batubara mencapai 2,7 juta ton/tahun.



Gambar 2.1 Proses Produksi Listrik PLTU Paiton Unit 9 (Sumber : PLTU Paiton Unit 9)

Proses pembangkitan listrik pada PLTU dihasilkan dari pembakaran batubara pada ruang bakar (*furnace*) didalam *boiler* yang menghasilkan energi panas berupa gas hasil pembakaran. Energi panas dari gas hasil pembakaran inilah yang dimanfaatkan untuk merubah air pengisi boiler menjadi uap bertekanan tinggi. Uap bertekanan tinggi ini kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin yang dikopel dengan generator sehingga generator ikut berputar dan menghasilkan listrik. Proses produksi listrik pada sebuah PLTU umumnya mempunyai 5 siklus utama, yakni siklus air pengisi boiler, siklus uap, siklus batubara, sistem bahan bakar minyak, dan siklus udara pembakar.

Efisiensi boiler dengan metode rugi-rugi panas merupakan perbandingan seberapa besar kemampuan boiler untuk mengubah nilai energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi panas. Metode ini mendapatkan nilai efisiensi dengan mengukur jumlah potensial panas bahan bakar dan menguranginya dengan rugi-rugi yang terdapat dalam proses pembakaran boiler dengan mengetahui kerugian panas yang terjadi maka dapat diketahui efisiensi boiler.

Besarnya efisiensi boiler metode kerugian panas dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta_B) = 100 \% - \% \text{ Total Heat Losses} \dots \dots \dots 2.1$$

Kerugian total pada boiler dapat ditentukan dengan mengetahui parameter-parameter yang digunakan untuk menentukan kerugian panas pada boiler sehingga dapat diketahui efisiensi boiler. Parameter tersebut sebagai berikut

2.1.1. Analisa Kandungan Batubara

Analisa kandungan batubara bertujuan untuk mengetahui kandungan pada batubara yang digunakan sebagai bahan bakar pada boiler. Analisa kandungan batubara meliputi analisis proksimasi dan analisis ultimasi.

2.1.2. Analisa Udara Melalui Pemanas Udara

Analisa udara melalui pemanas udara digunakan untuk menentukan referensi temperatur udara yang akan masuk menuju pemanas udara primer maupun udara sekunder yang akan mempengaruhi pembakaran pada boiler.

2.1.3. Analisa Abu Sisa Pembakaran

Analisa abu bertujuan untuk mengetahui besarnya sisa abu dari pembakaran batubara. parameter tersebut dapat ditentukan rata-rata karbon tidak terbakar di abu (U_c), berat gas kering setiap kilogram pembakaran batubara (W_{dp}), dan berat karbon terbakar setiap kilogram pembakaran batubara (C_b).

2.1.4. Analisa Gas Buang Melalui Pemanas Udara

Dalam menentukan analisa gas buang melalui pemanas udara perlu diketahui parameter yang dibutuhkan. Seperti kandungan oksigen, karbon monoksida, temperatur gas buang masuk AH A, temperatur gas buang masuk AH B, rata-rata temperatur gas buang keluar AH. parameter tersebut maka dapat ditentukan besarnya nilai kebutuhan udara teoritis pembakaran (A_o'), volume kering produk hasil pembakaran (V_{dp}), dan presentase kelebihan udara disisi keluar pemanas udara sehingga dapat diketahui kandungan karbon dioksida, dan kandungan nitrogen. Dengan begitu dapat ditentukan besarnya berat udara kering setiap kilogram pembakaran batubara, dan

temperatur untuk menentukan nilai koefisien rata-rata perpindahan panas gas buang. Untuk menentukan analisa tersebut digunakan persamaan sebagai berikut

- Teoritis Kebutuhan Udara Pembakaran
- Volume kering produk hasil pembakaran batubara (V_{dp})
- Presentase kelebihan udara disisi keluar pemanas udara ($A \times 15'$)
- Kandungan CO_2 disisi keluar pemanas udara ($[CO_2]15$)
- Kandungan N_2 di sisi keluar pemanas udara ($[N_2]15$)
- Berat udara kering setiap kilogram pembakaran batubara
- Gas buang kering setiap kilogram pembakaran batubara ($[WG]15$)
- Temperatur untuk menentukan nilai koefisien rata-rata perpindahan panas gas buang ($tCpG$)

2.1.4. Kerugian-Kerugian Panas Pada Boiler

Kerugian panas pada boiler perlu diketahui untuk menentukan semua kerugian yang terjadi di boiler sehingga dapat diketahui nilai efisiensi boiler. Kerugian-kerugian pada boiler yaitu

- Kerugian karbon tidak terbakar (L_{uc})
Salah satu unsur yang terkandung dalam limbah abu dari pembakaran batubara dari ruang bakar adalah karbon. Ini menunjukkan adanya sebagian karbon yang tidak ikut terbakar.
- Kerugian akibat gas asap kering (L_G)
Kerugian akibat gas asap kering adalah kerugian panas yang terbawa oleh gas buang kering keluar dari cerobong ketel.
- Kerugian akibat kandungan air di bahan bakar (L_{mf})
Kerugian akibat kandungan air di bahan bakar diakibatkan oleh bahan bakar yang digunakan mengandung air.
- Kerugian akibat kandungan air dari pembakaran hidrogen (L_h)
Kerugian ini akibat adanya hidrogen yang menyebabkan timbulnya air sehingga untuk setiap kg air yang terkandung dalam bahan bakar diperlukan sejumlah panas untuk mengubahnya menjadi uap dan keluar bersama gas bekas ke cerobong.

- Kerugian akibat kandungan air didalam udara (L_{ma})

Kerugian yang terjadi akibat besarnya kandungan air di dalam udara yang digunakan sebagai udara pembakaran. Kerugian akibat karbon monoksida digas buang (L_{co})

- Kerugian akibat permukaan radiasi dan konveksi (L_{β})

Kerugian berdasarkan permukaan radiasi dan konveksi ini berdasarkan ABMA STANDARD RADIATION LOSS CHART.

- Kerugian yang tak dapat dihitung (L_{un})

Kerugian yang tak dapat dihitung berdasarkan desain yaitu 0,3 %

- Kerugian panas total pada boiler (HL)

Kerugian panas total pada boiler (HL) merupakan total kehilangan energi panas pada boiler selama proses produksi uap.

2.2. Heat Rate Turbin

Heat Rate Turbin (HRTN) merupakan salah satu indikator yang menunjukkan *performance* dari kerja turbin. Untuk menentukan besarnya energi masuk dan energi keluar turbin, maka harus ditentukan besarnya laju aliran massa uap ekstraksi dari setiap tingkatan turbin. Besarnya laju aliran massa uap ekstraksi pada setiap pemanas dapat ditentukan sebagai berikut

- Main steam Flow* (GMS)

Main steam flow adalah laju aliran massa uap yang dihasilkan oleh *superheater* menuju ke *High Pressure* Turbin.

- Final Feed Water Flow* (GFW)

Final Feed Water Flow adalah besarnya jumlah air dari air umpan menuju ke *steam drum* setelah melalui pemanas-pemanas air.

- Superheat Spray Water flow* (Gsw)

Superheat Spray Water flow merupakan laju aliran massa air yang digunakan untuk spray pada sisi *superheater* pada boiler yang berfungsi mengatur temperatur pada *superheater boiler*.

- Reheat Spray Water Flow* (GRSW)

Reheat spray water flow merupakan laju aliran massa air yang digunakan untuk spray pada sisi *reheater* pada boiler yang berfungsi mengatur temperatur uap pada *reheater boiler*.

- Laju Aliran Massa Uap Masuk HPH 1 ($G1H$)

Laju aliran massa uap dari ekstraksi turbin yang masuk menuju *high pressure heater*

pertama (HPH 1). Laju aliran Massa Uap Masuk HPH 2 (G2H)

f. Laju massa uap dari ekstraksi turbin yang masuk menuju *high pressure heater* kedua dapat (HPH 2). Laju Aliran Massa Uap Masuk *Reheater* (GRSI)

g. Laju massa uap keluar dari high pressure turbin yang masuk menuju reheater pada boiler yang biasanya disebut *cold reheat*.

h. Laju Aliran Massa Uap Masuk HP Turbin (GRSO)

Laju massa uap keluar dari reheater yang masuk menuju *Intermediet* Turbin pada boiler yang biasanya disebut *Hot Reheat*.

i. *Main Steam* Entalphi (HMS)

Main Steam Entalphi adalah energi yang terkandung dalam uap *superheated* untuk memutar HP Turbine dalam 1 kg (kJ/kg). Nilai entalphi dipengaruhi oleh nilai temperatur dan tekanan uap *superheated*.

j. *Cold Reheater Steam* Entalphi (HRSI)

Adalah energi uap panas setelah memutar HP Turbine dalam 1 kg.

k. *Hot Reheater Steam* Entlphi (HRSO)

Adalah banyaknya energi uap panas untuk memutar IP Turbine dalam 1 kg (kJ/kg). Uap ini hasil dari pemanasan pada Reheater. Nilai entalphi dipengaruhi oleh nilai temperatur dan tekanan uap tersebut.

l. *Feedwater* Entalphi (HFW)

Feedwater Entalphi adalah energi yang terkandung dalam air yang akan dipanaskan untuk dijadikan uap dalam 1 kg. Nilai entalphi dipengaruhi oleh nilai temperatur dan tekanan pada *feedwater*.

m. Entalphi *Superheater Spray Water* (H_{RW})

Adalah banyaknya energi yang terkandung dalam air pendingin *Superheater* dalam waktu 1 detik. Nilai entalphi dipengaruhi oleh nilai temperatur dan tekanan pada uap panas tersebut.

n. Entalphi *Reheater Spray Water* (HRSW)

Adalah banyaknya energi yang terkandung dalam air pendingin *Reheater* dalam 1 kg. Nilai entalphi dipengaruhi oleh nilai temperatur dan tekanan pada uap panas tersebut.

o. *Generator Terminal* (P_g)

Generator terminal Adalah energi listrik yang dihasilkan generator (kW).

p. *Generator Transformator* (P_n)

Generator Transformator adalah energi listrik yang dihasilkan generator transformator dikurangi dengan pemakaian sendiri.

Setelah mengetahui laju aliran massa pada setiap komponen maka dapat di tentukan besarnya energi yang masuk turbin dan keluar turbin. Untuk menentukan besarnya energi tersebut dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut

a. Energi Masuk Turbin (Q_{in})

Adalah nilai total energi yang masuk menuju turbin yang berguna untuk kerja memutar turbin

b. Energi Keluar Turbin (Q_{out})

Adalah nilai total energi yang keluar dari turbin yang digunakan untuk pemanasan air umpan dan penurunan energi akibat spray air pada sisi *superheater* dan reheater

2.3. Heat Rate

Heat Rate (HRPN) adalah jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik setiap satu jam.

III. PENGAMBILAN DATA

Pengambilan data terbagi menjadi dua tahap di waktu yang berbeda. Pertama di ambil pada saat performance test tanggal 12 maret 2015. Sedangkan data yang lainnya di ambil yaitu pada tanggal 11 february 2015, 13 Januari 2015, 11 Desember 2014 dan 26 November 2014. Data yang diambil sebagai berikut

- Analisa Batubara
- Analisa kandungan Carbon Abu
- Temperatur dan Kelemban Relatif Udara Sekitar
- Analisa Udara Melalui Pemanas Udara
- Temperatur Gas Buang
- Kandungan CO Dan O2 Pada Gas Buang
- Temperatur, Tekanan, dan Laju Massa Uap dan Air
- Daya Yang Dibangkitkan

IV. PEMBAHASAN DAN ANALISIS DATA

Pembahasan data menggunakan salah satu sampel data yang digunakan adalah data pada tanggal 12 Maret 2015.

- a. Perhitungan kehilangan panas karena karbon yang tidak terbakar (L_{UC})

$$L_{uc} = \frac{33728,86 \times W_{dp} \times U_c}{H_f} \times 100$$

$$L_{uc} = \frac{33728,86 \times 0,034 \frac{kg}{kg} \times 0,02\%}{4225 \frac{kcal}{kg}} \times 100$$

$$L_{uc} = 0,005 \%$$

- b. Perhitungan kehilangan panas pada gas buang (L_G)

Kehilangan panas ini terjadi karena temperatur gas buang yang masih tinggi walaupun telah melewati pemanas udara dan ekonomiser namun tidak dapat digunakan lagi untuk ketel uap.

$$L_G = \frac{[WG]15 \times C_{pc} \times (t_{G15} - t_{A8})}{H_f} \times 100$$

$$L_G = \frac{8,105 \times 0,236 \times (137,8505 - 39,444)}{4225} \times 100$$

$$L_G = 4,463 \%$$

- c. Perhitungan kehilangan panas akibat kandungan air dalam batu bara (L_{mf})

Kehilangan panas ini dikarenakan terdapat kandungan air (moisture) yang terdapat pada batu bara. Hal ini menyebabkan batu bara ketika dibakar pada ruang bakar (*furnace*) akan berlangsung lebih lama.

$$L_{mf} = \frac{M_{ar} \times (h_{15} - h_{Rv})}{H_f} \times 100$$

$$L_{mf} = \frac{0,346 \frac{kg}{kg} \times (2760 \frac{kJ}{kg} - 2556,7 \frac{kJ}{kg})}{4225 \frac{kcal}{kg} \times 4,1868} \times 100$$

$$L_{mf} = 6,971 \%$$

- d. Perhitungan kehilangan panas akibat air yang terbentuk pada pembakaran hidrogen (L_H)

Kehilangan panas ini dikarenakan saat proses pembakaran, kandungan hidrogen pada batu bara bereaksi dengan Oksigen pada udara pembakaran yang menyebabkan terbentuknya kandungan uap air (H_2O) sehingga mengurangi nilai kalori dari batu bara dan menyebabkan pembakaran menjadi lebih lama.

$$L_h = \frac{8,936 \times H_{ar} \times (h_{15} - h_{Rv})}{H_f} \times 100$$

$$L_h = \frac{8,936 \times 0,037 \times (2760 - 2556,7)}{4225 \times 4,1868} \times 100$$

$$L_h = 4,919 \%$$

- e. Perhitungan kehilangan panas akibat kandungan air di udara (L_{ma})

Kehilangan panas ini dikarenakan adanya kandungan air (*moisture*) di udara pembakaran, yang menyebabkan pembakaran akan berlangsung lebih lama karena panas yang ada akan digunakan terlebih dahulu untuk menguapkan air yang terkandung pada udara tersebut.

$$L_{ma} = \frac{W_{mAx} [WA] 15 \times (h_{15} - h_{RV})}{H_f} \times 100$$

$$L_{ma} = \frac{0,020 \times 8,483 \times (2760 - 2556,7)}{4225 \times 4,1868} \times 100$$

$$L_{ma} = 0,002 \%$$

- f. Perhitungan kehilangan panas akibat konveksi dan radiasi pada ketel uap (L_B)

Kehilangan panas ini terjadi dikarenakan perpindahan panas secara radiasi dan konveksi pada pipa – pipa pada ruang bakar maupun pada aliran gas buang. Prosentase kehilangan panas ini nilainya ditentukan berdasarkan ABMA curve yang nilainya selalu tetap dari waktu ke waktu sesuai dengan kondisi pada saat commissioning yaitu 0,18%.

- g. Perhitungan kehilangan panas yang tidak dapat diukur (L_{un})

Kehilangan panas ini tidak dapat dihitung, hal tersebut dikarenakan kehilangan ini terlalu kecil nilainya ataupun tidak terukur. Oleh sebab itu prosentase kehilangan panas ini ditetapkan nilainya berdasarkan model ketel uap yang digunakan oleh PLTU Tanjung Jati B Unit 2, yaitu 0,15 %.

$$L_{un} = \frac{0,15 \times HHV}{100}$$

$$= \frac{0,15 \times 25119,13}{100}$$

$$= 37,68 \text{ kJ/kg}$$

- h. Perhitungan efisiensi ketel uap

Efisiensi ketel uap adalah perbandingan antara panas yang dibutuhkan untuk merubah air menjadi uap terhadap panas yang dihasilkan oleh pembakaran.

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta_B) = 100 \% - HL \%$$

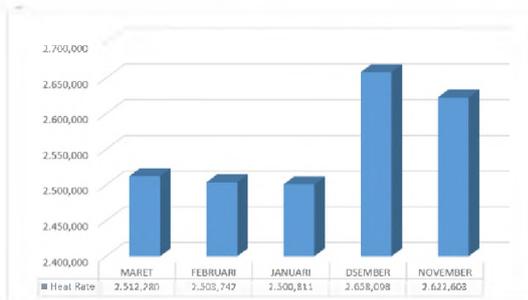
$$\text{Efisiensi boiler } (\eta_B) = 100 \% - 17,164 \%$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta_B) = 82,836 \%$$

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan sesuai dengan contoh perhitung efisiensi ketel uap :

Tabel 4.1 Hasil perhitungan total kehilangan panas

Item	Simbol	Unit	Tanggal Pengambilan				
			2015			2014	
Tanggal	-	-	12 Maret	11 Februari	13 Januari	11 Desember	26 November
Kerugian karbon tidak terbakar	L _{uc}	%	0,005	0,009	0,013	0,254	0,055
Kerugian akibat gas asap kering	L _g	%	4,428	4,514	4,462	3,779	3,572
Kerugian akibat kandungan zat di bahan bakar	L _{mf}	%	6,658	6,512	6,658	5,585	4,556
Kerugian akibat kandungan zat dari pembakaran hidrogen	L _h	%	4,845	4,522	4,383	4,437	5,597
Kerugian akibat kandungan zat di dalam uap	L _{ms}	%	0,002	0,006	0,002	0,002	0,001
Kerugian akibat karbon monoksida dalam uap	L _{co}	%	0,321	0,008	0,089	0,024	0,072
Kerugian akibat permukaan radiasi dan konveksi	L _p	%	0,180	0,180	0,180	0,180	0,180
Kerugian yang tak dapat dihitung	L _{on}	%	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3
Kerugian panas total pada boiler	HL	%	16,720	15,632	16,086	14,361	14,311
Effisiensi boiler	η _b	%	83,280	84,346	83,914	85,439	85,689



Gambar 4.2 Diagram Batang Heat Rate Unit Tiap Bulan

Berdasarkan Gambar 4.1. Diagram Batang Heat Loss dan Effisiensi Boiler Beban Penuh menunjukkan besarnya efisiensi boiler dan rugi-rugi panas yang terjadi pada boiler saat beroperasi. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa semakin rendah efisiensi yang terjadi pada boiler maka semakin besar pula rugi - rugi panas yang terjadi pada boiler. Bila dijumlahkan, antara efisiensi boiler dan kerugian yang terjadi pada saat yang sama menghasilkan jumlah 100 %. Effisiensi boiler tertinggi terjadi pada 26 November 2014 sebesar 85,689 % dengan kerugian yang terjadi pada tanggal yang sama yaitu sebesar 14,311 %. Sedangkan efisiensi boiler

terendah terjadi pada 12 Maret 2015 dengan efisiensi sebesar 83,280 % dan kerugian panas yang terjadi sebesar 16,720 %. Pengujian dilakukan dengan beban penuh sebesar 659 MW.

Nilai efisiensi juga berpengaruh dengan nilai heat rate yang terjadi. Heat rate yang terjadi pada bulan yang sama yaitu sebesar 2.622,603 kcal/kWh dengan nilai kalori bahan bakar sebesar 4429 kcal/kg. Sedangkan pada bulan 12 Maret 2015 nilai heat rate nya yaitu sebesar 2.512,280 kcal/kWh dengan nilai kalori 4258 kcal/kWh. Besarnya nilai heat rate sangat memengaruhi keandalan suatu unit pembangkit. Bila nilai heat rate semakin rendah maka semakin handal dan efisien unit dalam beroperasi karena energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi listrik semakin kecil. Kebutuhan energi yang semakin kecil akan menurunkan pemakaian batubara sehingga biaya produksi listrik suatu unit pembangkit semakin rendah.

Penggunaan nilai heat rate digunakan untuk mengetahui keandalan suatu unit dari bulan ke bulan selama unit tersebut beroperasi. Heat rate memang tidak selamanya sesuai dengan pemakaian batubara yang digunakan. Dalam kenyataannya pemakaian batubara yang memiliki nilai kandungan kalori tinggi belum tentu menghasilkan heat rate yang rendah. Begitu juga sebaliknya, penggunaan batubara dengan nilai kalori rendah belum tentu menghasilkan nilai hate rate yang tinggi. Terjadi pada PLTU Paiton Unit 9 yang telah penulis analisa.

V. KESIMPULAN

Setelah menganalisa perhitungan dan grafik, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan *performance test* dapat diketahui keandalan suatu unit yang beroperasi. Selama 5 kali uji *performance test* diperoleh Efisiensi boiler tertinggi terjadi pada 26 November 2014 dengan efisiensi sebesar 85,689 %. Sedangkan efisiensi boiler terendah yaitu sebesar 83,280 % terjadi pada 12 Maret 2015. Heat rate terendah (terbaik) yaitu 2.500,811 kcal/kWh terjadi pada tanggal 13 Januari 2015. Sedangkan heat rate tertinggi terjadi

pada tanggal 11 Desember 2014 yaitu sebesar 2.658,098 kcal/kWh.

2. Untuk mendapatkan nilai *heat rate* terbaik dibutuhkan keandalan yang terkendali baik secara pengoperasian maupun perawatan antara turbin, boiler dan transformator pada beban yang sesuai sehingga didapatkan *heat rate* terbaik yang menjadikan unit bekerja secara efisien. Pada 5 kali performance test yang dilakukan dari bulan November 2014 sampai dengan Maret 2015 keandalan P.LTU Paiton Unit 9 terjadi pada 12 Maret 2015. Dengan *heat rate* terendah (terbaik), menggunakan bahan bakar dengan nilai kalori yang tinggi dan konsumsi panas bahan bakar yang terkecil pula

DAFTAR PUSTAKA

.....,1999. “*Steam Generating Unit*”. American Society of Mechanical Engineers (ASME), *ASME PTC 4.1-1964*. New York. ASME

....., *Performance Test Procedure Of Steam Generator*. Xi’an Thermal Power Research Institute. China

.....,2004. “*Steam Turbines*”. The American Society of Mechanical Engineers, New York

.....,2005. “*Boiler Training Manual*”. The Babcock & Wilcox Company. American

.....,2008. “*Steam Generators*”. The American Society of Mechanical Engineers. New York

....., *Heat Rate Handbook*. Southern Company Generating Plant Performance.

El-Wakil, 1992. “*Instalasi Pembangkit Daya*”. Jakarta. Erlangga

Marsudi Djiteng, 2011. “pembangkit Energi Listrik”. Jakarta Erlangga