

## ANALISA HEAT RATE DENGAN VARIASI BEBAN PADA PLTU PAITON BARU (UNIT 9)

Agus Hendroyono

Sahid, Dwiana Hendrawati

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 :secretariat@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 dengan variasi beban terhadap konsumsi batubara spesifik dan biaya produksi listrik pada PLTU Paiton Baru (Unit 9). 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 dengan variasi beban sehingga didapatkan konsumsi batubara spesifik dan biaya produksi listrik. Dari hasil pengolahan data maka didapatkan grafik hubungan heat rate terhadap beban yang bervariasi, konsumsi batubara spesifik, dan biaya produksi listrik. Dari hasil perhitungan yang dilakukan diperoleh hasil heat rate terendah yaitu 2416,22 kcal/kWh pada beban 659 MW dengan nilai konsumsi batubara spesifik adalah 0,572 kg/kWh dan biaya produksi listrik 400,32 Rp/kWh. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin kecil nilai heat rate maka semakin rendah konsumsi batubara spesifik dan semakin kecil biaya produksi listrik.*

*Kata kunci : Heat rate, Konsumsi batubara spesifik, Biaya produksi listrik*

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi yang semakin berkembang membuat kebutuhan akan energi menjadi pemegang peranan penting pada perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Hampir seluruh kegiatan dalam kehidupan manusia memerlukan energi untuk membantu melakukan banyak proses dan kegiatan sebagai pengganti tenaga manusia. Energi yang paling dibutuhkan manusia salah satunya adalah energi listrik. Manusia membutuhkan energi listrik untuk berbagai kepentingan dalam berbagai hal. Kehidupan manusia dari dahulu sampai sekarang terus meningkat kebutuhannya yang diikuti dengan kebutuhan energi yang semakin meningkat. Energi listrik yang besar serta penggunaannya secara terus menerus tidak dapat tersedia secara alami. Oleh sebab itu dibutuhkan pembangkit listrik yang handal.

Keandalan unit pada PLTU Paiton Baru (Unit 9) ditentukan dengan melakukan *performance test* yang bertujuan untuk mengetahui kebutuhan energi yang

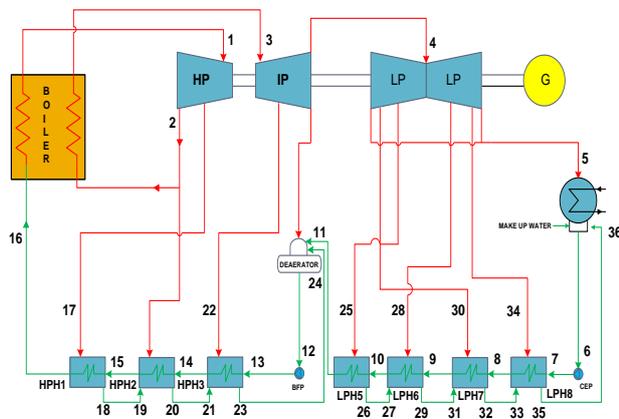
diperlukan untuk membangkitkan energi selama waktu satu jam yang biasa disebut dengan *heat rate*. *Heat rate* merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui karakteristik dan keandalan dari suatu unit pembangkit sebagai dasar pertimbangan pengoperasian dan perawatan suatu unit pembangkit tenaga uap.

*Heat rate* didefinisikan sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan unit untuk menghasilkan sejumlah energi listrik selama waktu satu jam. *Heat rate* dinyatakan dengan satuan kcal/kwh.

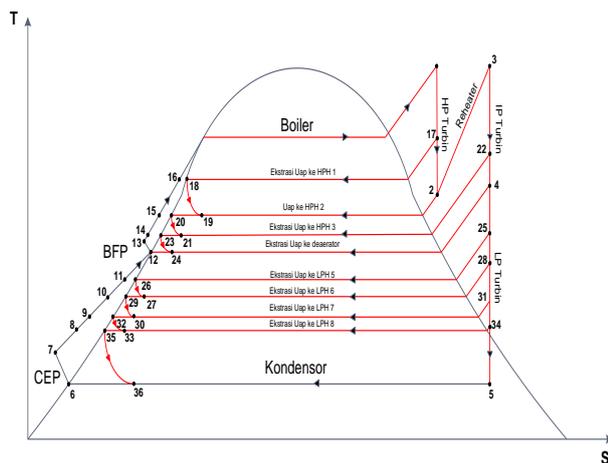
#### 1.1. Proses Produksi Energi Listrik

Energi listrik merupakan perubahan dari energi primer. Energi listrik dihasilkan dari perubahan energi kimia (batubara) menjadi energi panas (kalor) pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Energi panas ini digunakan untuk memanaskan air sehingga menghasilkan uap panas lanjut (*superheat*). Energi potensial dari uap diubah menjadi energi kinetik pada sudu turbin. Energi kinetik tersebut kemudian

diubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros turbin. Energi mekanik dari turbin digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik.



Gambar 1. Proses Produksi Listrik PLTU Paiton Baru (Unit 9)



Gambar 2. Siklus Rankine PLTU Paiton Baru (Unit 9)

Proses awal produksi listrik di PLTU Paiton Baru (Unit 9) adalah proses pemurnian air laut menjadi air murni dengan proses desalinasi dan demineralisasi. Air murni tersebut digunakan sebagai air umpan untuk boiler. Air umpan tersebut dipanaskan di dalam boiler dengan memanfaatkan energi panas dari bahan bakar berupa batubara sehingga menghasilkan uap panas lanjut. Uap panas lanjut dimasukkan ke dalam turbin bertingkat sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran. Energi mekanik tersebut digunakan untuk memutar generator yang satu poros dengan turbin sehingga

menghasilkan energi listrik. Energi listrik tersebut kemudian dinaikkan tegangannya oleh generator transformator.

Salah satu parameter keandalan unit dalam memproduksi energi listrik adalah *heat rate*. *Heat rate* pada suatu unit pembangkit berpengaruh terhadap *specific coal consumption* (SCC) unit saat beroperasi. *Heat rate* yang rendah maka dapat mengurangi *specific coal consumption* (SCC) atau konsumsi batubara spesifik yang berdampak langsung pada biaya produksi listrik unit yang semakin rendah.

### 1.2. Heat Rate

*Heat rate* adalah ukuran *thermal performance* dari suatu pembangkit. Unjuk kerja ini dipengaruhi oleh desain dan kondisi operasi. *Heat rate* didefinisikan sebagai jumlah dari energi bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah energi listrik setiap satu jam. Satuan *heat rate* adalah kcal/kwh. Nilai *heat rate* dari suatu unit pembangkit dapat ditentukan dengan mengetahui *heat rate* turbin dan efisiensi boiler metode kerugian panas. *Heat rate* dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$HR_{PN} = \frac{HR_{TN}}{\eta_B} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan :

HR<sub>PN</sub> = Heat rate [kcal/kWh]

HR<sub>TN</sub> = Heat rate turbin [kcal/kWh]

η<sub>B</sub> = Efisiensi boiler

### 1.3. Efisiensi Boiler Metode Kehilangan Panas

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. Efisiensi boiler dapat ditentukan dengan mengetahui kerugian panas yang terjadi pada boiler selama proses pembakaran bahan bakar. Kerugian-kerugian panas pada boiler yaitu :

- Kerugian akibat karbon tidak terbakar (L<sub>uc</sub>)

$$L_{uc} = \frac{33728,86 \times W_{dp} \times U_c}{H_f} \times 100 \dots\dots (2)$$

- Kerugian akibat gas buang kering ( $L_G$ )

$$L_G = \frac{(W_G)_{15} \times c_{pG} \times (t_{G15} - t_{A8})}{H_f} \times 100 \quad \dots(3)$$

- Kerugian akibat kandungan air dibahan bakar ( $L_{mf}$ )

$$L_{mf} = \frac{M_{ar} \times (h_{15} - h_{RW})}{H_f} \times 100 \quad \dots\dots\dots(4)$$

- Kerugian kandungan air dari pembakaran hidrogen ( $L_h$ )

$$L_h = \frac{8,936 \times H_{ar} \times (h_{15} - h_{RW})}{H_f} \times 100 \quad \dots\dots(5)$$

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

$$L_{ma} = \frac{W_{ma} \times (W_A)_{15} \times (h_{15} - h_{RV})}{H_f} \times 100 \quad \dots(6)$$

- Kerugian karbon monoksida digas buang ( $L_{co}$ )

$$L_{co} = \frac{23630 \times (CO)_{15} \times C_b}{((CO_2)_{15} + (CO)_{15}) \times H_f} \times 100 \quad \dots\dots(7)$$

- Kerugian panas akibat permukaan radiasi dan konveksi ( $L_\beta$ )

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

- Kerugian yang tidak dapat dihitung ( $L_{un}$ )  
Kerugian yang tidak dapat dihitung berdasarkan desain yaitu 0,3 %

Besarnya efisiensi boiler metode kerugian panas dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\eta_b = 100 \% - (L_{uc} + L_G + L_{mf} + L_h + L_{ma} + L_{co} + L_\beta + L_{un}) \quad \dots\dots\dots(8)$$

**1.4.Heat Rate Turbin**

*Heat rate* turbin merupakan ukuran kinerja turbin.*Heat rate* turbin adalah besarnya konsumsi energi uap yang digunakan untuk membangkitkan setiap kWh listrik. *Heat rate* turbin dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

- Energi masuk turbin

$$Q_{in} = (GMS \times HMS) + (GRSO \times HRSO) \quad (9)$$

- Energi keluar turbin

$$Q_{out} = (GFW \times HFW) + (GRSI \times HRSI) + (GRSW \times HRSW) + (GSW \times HSW) \quad \dots(10)$$

- Heat rate turbin

$$HR_{TN} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{P_n} \quad \dots\dots\dots(11)$$

Dengan :

$Q_{in}$  = Energi masuk turbin [kJ/h]

$Q_{out}$  = Energi keluar turbin [kJ/h]

$P_n$  = Daya yang dibangkitkan generator transformator [kW]

**1.5. Specific Coal Consumption (SCC)**

*Specific coal consumption* (SCC) atau Konsumsi batubara spesifik merupakan pengukuran jumlah bahan bakar yang diperlukan (kg) untuk menghasilkan daya (kw) dalam satu jam (h) pada keadaan beban tertentu.*Specific coal consumption* (SCC) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$SCC = \frac{H_{RPN}}{HHV} \quad \dots\dots\dots(12)$$

Dengan :

SCC = Specific coal consumption (kg/kWh)

$H_{RPN}$  = Heat rate (kcal/kWh)

HHV = Nilai kalor batubara (kcal/kg)

**1.6. Biaya Produksi Listrik (BPL)**

Biaya produksi pembangkit adalah rupiah yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya (kw) dalam satu jam (h).

$$BPL = SCC \times \frac{\text{Rupiah}}{\text{kg batubara}} \quad \dots\dots\dots(13)$$

Dengan :

BPL = Biaya produksi listrik (Rupiah/kwh)

**2. Metode Penelitian**

Metode yang digunakan penulis untuk menentukan heat rate PLTU Paiton Baru (Unit 9) adalah:

1. Metode Studi Pustaka

Metode ini dilakukan dengan membaca buku-buku sebagai referensi yang berupa manual book di Perpustakaan PLTU Paiton Baru (Unit 9) dan buku *heat rate handbook* dari bagian perencanaan dan pengendalian operasi atau buku yang berkaitan dengan

sistem pembangkit listrik tenaga uap, serta mencari sumber informasi lainnya sebagai dasar teori.

## 2. Metode Studi Lapangan

Metode ini dilakukan dengan pengamatan dan pengumpulan data untuk merndapatkan data yang diperlukan yaitu parameter data yang digunakan untuk menentukan efisiensi boiler metode kerugian panas dan *heat rate* turbin. Parameter data efisiensi boiler yaitu analisa kandungan batubara dan analisa kandungan abu yang didapatkan dari analisa laboratorium PLTU Paiton Baru (Unit 9), serta analisa udara melalui pemanas udara dan analisa gas buang melalui pemanas udara yang didapatkan dari ruang kontrol PLTU Paiton Baru (Unit 9). Parameter data *heat rate* turbin yaitu temperatur, tekanan, dan laju aliran massa uap utama (*main steam*), temperatur dan tekanan uap masuk pemanas ulang (*cold reheat*), temperatur dan tekanan uap keluar pemanas ulang (*hot reheat*), temperatur, tekanan, dan laju aliran massa *superheat spray water*, temperatur, tekanan, dan laju aliran massa *reheat spray water*, temperatur, tekanan, dan laju aliran massa air akhir (*final feed water*), temperatur dan tekanan *drain water*, *extraction steam*, dan *outlet water* HPH 1, temperatur dan tekanan *drain water*, *extraction steam*, dan *outlet water* HPH 2, temperatur dan tekanan *drain water*, *extraction steam*, *inlet water*, dan *outlet water* HPH 3, generator terminal *output*, dan generator transformer *output* yang didapatkan dari ruang kontrol PLTU Paiton Baru (Unit 9).

## 3. Metode Pengolahan Dan Analisa

Metode ini dilakukan pengolahan data yang telah didapatkan untuk menentukan efisiensi boiler metode kerugian panas dan *heat rate* turbin yang kemudian digunakan untuk menentukan *heat rate*, *specific coal consumption*, dan biaya produksi listrik. Dengan hasil tersebut dilakukan analisa diskriptif berdasarkan grafik dari hasil pengolahan data yang kemudian didapatkan kesimpulan.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil perhitungan data yang telah dilakukan didapatkan besarnya efisiensi boiler metode kerugian panas dan *heat rate* turbin yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler

Simbol	Unit	Nilai					
		659	602	555	520	446	412
-	MW	659	602	555	520	446	412
$L_{uc}$	%	0,716	0,471	0,372	1,230	2,434	1,786
$L_G$	%	2,609	3,113	2,906	2,544	2,622	2,791
$L_{mf}$	%	4,905	4,373	4,332	4,878	4,235	3,649
$L_h$	%	3,740	4,532	4,236	4,388	3,924	4,469
$L_{ma}$	%	0,023	0,022	0,022	0,021	0,023	0,023
$L_{co}$	%	0	0	0	0	0	0
$L_\beta$	%	0,180	0,201	0,218	0,231	0,275	0,300
$L_{un}$	%	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300
$H_L$	%	12,473	13,012	12,386	13,591	13,812	13,318
$\eta_b$	%	87,53	86,99	87,61	86,41	86,19	86,68

Tabel 2. Tabel Hasil Perhitungan Heat Rate Turbin

Simbol	Unit	Nilai					
		659	602	555	520	446	412
-	MW	659	602	555	520	446	412
$Q_m$	kcal/h	3284555303	3039863239	2801856271	2698562025	2329670394	2160177079
$Q_{out}$	kcal/h	1946699654	1800702475	1654011000	1581476510	1345822537	1237080742
$Q_{total}$	kcal/h	1337855649	1239160764	1147845271	1117085515	983847857	923096337
$H_{RN}$	kcal/kWh	2114,85	2148,59	2164,83	2262,00	2323,61	2360,84

Dari hasil perhitungan efisiensi boiler pada tabel 4.1 dan *heat rate* turbin pada tabel 4.2 maka dapat ditentukan besarnya *heat rate* dengan variasi beban yang berbeda sehingga dapat diketahui besarnya konsumsi batubara spesifik atau *specific coal consumption* (SCC) dan biaya produksi listrik (BPL). Hasil perhitungan *heat rate*, konsumsi batubara spesifik, dan biaya produksi listrik dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

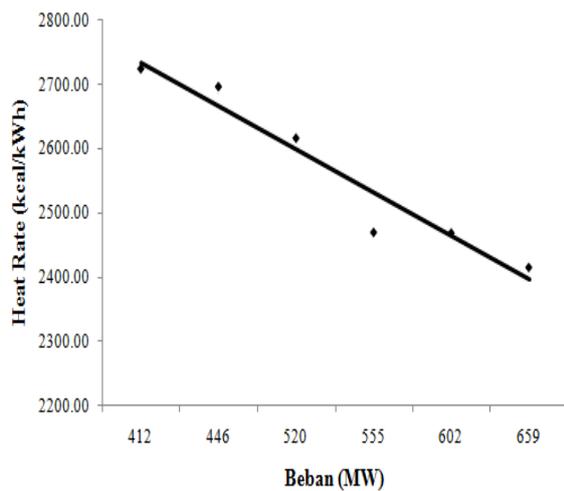
Tabel 3. Hasil Perhitungan Heat Rate, SCC, Dan BPL

Simbol	Unit	Nilai					
		659	602	555	520	446	412
-	MW	659	602	555	520	446	412
$H_{RN}$	kcal/kWh	2416,22	2469,98	2470,88	2617,80	2696	2723,57
SCC	kg/kWh	0,572	0,575	0,577	0,621	0,633	0,636
BPL	Rp/kWh	400,32	402,65	404,12	434,74	442,99	445,07

Dari hasil perhitungan nilai *heat rate* dengan variasi beban, konsumsi batubara spesifik, dan biaya produksi listrik maka didapatkan grafik hubungan sebagai berikut :

### 3.1. Analisa Pengaruh Perubahan Beban Terhadap Heat Rate

Grafik hubungan beban terhadap *heat rate* ditunjukkan pada gambar 4.1 sebagai berikut:



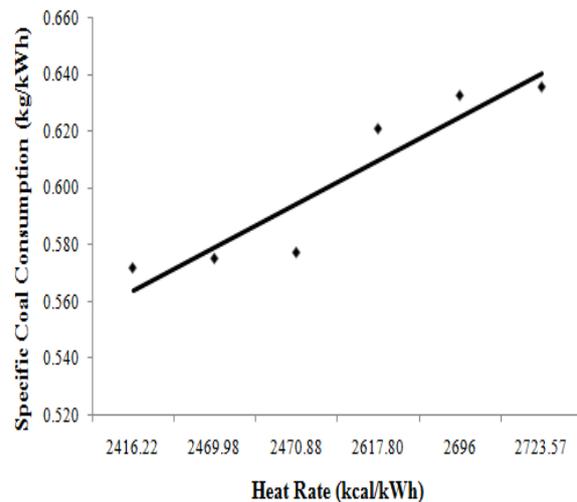
Gambar 3. Grafik Hubungan Perubahan Beban Terhadap Heat Rate

Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan perubahan beban terhadap *heat rate*. Berdasarkan gambar grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar beban maka semakin rendah nilai *heat rate*. Gambar grafik tersebut menunjukkan karakteristik pengoperasian unit terbaik yaitu pada beban 659 MW dengan nilai *heat rate* terendah yaitu 2416,22 kcal/kWh. Nilai tersebut menunjukkan bahwa untuk membangkitkan 1 kWh energi listrik memerlukan energi dari batubara sebesar 2416,22 kcal. 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. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *heat rate* berpengaruh terhadap specific coal

consumption (SCC) dan biaya produksi listrik (BPL).

### 3.2. Analisa Pengaruh Heat Rate Terhadap Specific Coal Consumption (SCC)

Grafik hubungan *heat rate* terhadap *specific coal consumption* (SCC) ditunjukkan pada gambar 4.2 sebagai berikut:

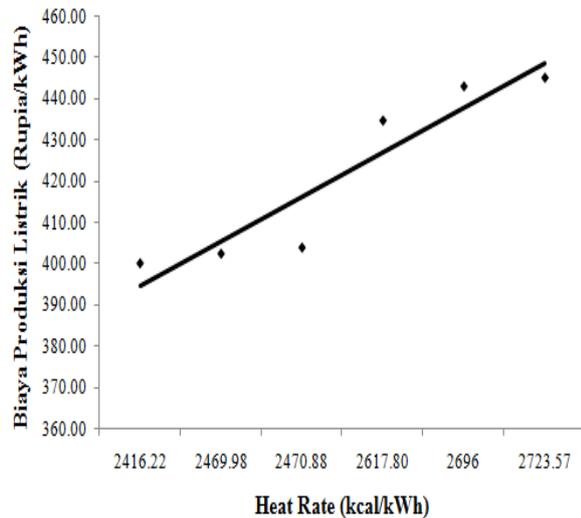


Gambar 4. Grafik Hubungan Heat Rate Terhadap Specific Coal Consumption (SCC)

Nilai *heat rate* berpengaruh terhadap *specific coal consumption* (SCC) suatu unit pembangkit karena dengan nilai *heat rate* yang rendah maka pemakaian bahan bakar untuk memenuhi kebutuhan energi dalam membangkitkan energi listrik akan semakin kecil. Gambar 4.2. menunjukkan hubungan *heat rate* terhadap *specific coal consumption* (SCC). Berdasarkan gambar grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar *heat rate plant* maka semakin besar konsumsi batubara spesifik atau *specific coal consumption* (SCC). Gambar grafik tersebut menunjukkan konsumsi batubara spesifik terkecil adalah 0,572 kg/kWh dengan nilai *heat rate* yaitu 2416,22 kcal/kWh. Bila nilai *heat rate* semakin rendah maka konsumsi batubara spesifik semakin kecil. Dengan konsumsi batubara spesifik yang rendah maka pemakaian batubara akan semakin sedikit sehingga biaya produksi listrik semakin kecil.

### 3.3. Analisa Pengaruh Heat Rate Terhadap Biaya Produksi Listrik (BPL)

Grafik hubungan *heat rate* terhadap biaya produksi listrik ditunjukkan pada gambar 4.2 sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Hubungan Heat Rate Terhadap Biaya Produksi Listrik (BPL)

Besarnya *heat rate* berpengaruh terhadap biaya produksi listrik (BPL) suatu unit pembangkit karena dengan nilai *heat rate* yang rendah maka kebutuhan energi yang kecil menyebabkan biaya yang dikeluarkan untuk produksi energi listrik semakin kecil. Gambar 4.3. menunjukkan grafik hubungan *heat rate* terhadap biaya produksi listrik (BPL). Berdasarkan gambar grafik tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai *heat rate* maka biaya produksi listrik akan semakin meningkat. Gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa biaya produksi listrik terkecil adalah 400,32 Rupiah/kWh dengan nilai *heat rate* yaitu 2416,22 kcal/kWh.. Bila nilai *heat rate* semakin rendah maka biaya produksi listrik suatu unit pembangkit akan semakin kecil sehingga sedikit biaya yang dikeluarkan unit untuk membangkitkan energi listrik semakin kecil.

### 4. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dan analisis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik *heat rate* terbaik pada PLTU Paiton Baru (Unit 9) yaitu

2416,22 kcal/kWh pada beban operasi 100 % yaitu 659 MW. Bila semakin rendah nilai *heat rate* maka semakin baik unit dalam beroperasi.

2. Besarnya *specific coal consumption* (SCC) atau konsumsi batubara spesifik terendah yaitu 0,572 kg/kWh saat unit beroperasi pada beban 659 MW dengan nilai *heat rate* adalah 2416,22 kcal/kWh. Bila semakin rendah nilai *heat rate* maka akan menurunkan *specific coal consumption* (SCC) suatu unit pembangkit.
3. Besarnya biaya produksi listrik (BPL) terendah yaitu 400,32 Rp/kWh saat unit beroperasi pada beban 659 MW dengan nilai *heat rate* adalah 2416,22 kcal/kWh dan *specific coal consumption* (SCC) adalah 0,572 kg/kWh. Bila nilai *heat rate* semakin rendah maka akan menurunkan *specific coal consumption* (SCC) yang menyebabkan pengurangan biaya produksi listrik (BPL) suatu unit pembangkit.

### DAFTAR PUSTAKA

- El-Wakil, 1992. "Instalasi Pembangkit Daya". Jakarta: Erlangga
- Marsudi Djiteng, 2011. "Pembangkitan Energi Listrik". Jakarta: Erlangga
- Southern Company Generating Plant Performance. *Heat Rate Handbook*
- The Babcock & Wilcox Company. 2005. Boiler Training Manual. American
- The American Society of Mechanical Engineers, 2008. *Steam Generators*. New York
- The American Society of Mechanical Engineers, 2004. *Steam Turbines*. New York
- Xi'an Thermal Power Research Institute. Performance Test Procedure Of Steam Generator. China
- Xi'an Thermal Power Research Institute. Performance Test Procedure Of Steam Turbine. China