

BAB IV

ANALISIS DATA PENELITIAN

4.1 Analisis Data

Dapat kita ketahui bahwa alur pendistribusian tenaga listrik tersebut ialah dari Indonesia Power menuju Pusat Pengatur Beban (P2B), dari P2B ialah menuju ke Gardu Induk, kemudian ke PLN, dan terakhir ke Konsumen (Rumah Tangga, Kawasan Industri, dsb). Penyediaan jumlah energi listrik pada Indonesia Power Unit Pembangkitan Suralaya tergantung dari permintaan beban Pusat Pengatur Beban (P2B), yang dimana besarnya nilai perubahan pembebanan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) pada Indonesia Power tersebut harus mengikuti permintaan dari pihak Pusat Pengatur Beban (P2B). Perubahan pembebanan tersebut mempengaruhi unjuk kinerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sehingga efisiensi PLTU tersebut akan berbeda sesuai dengan perubahan beban. Maka PLTU akan dapat diketahui pada saat pembebanan berapa Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tersebut memiliki nilai efisiensi tertinggi, yaitu dari perubahan pembebanan tersebut.

4.2 Susunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) UBP Suralaya Unit I-IV

PLTU UBP Suralaya tersebut dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu;

- a. Yang pertama proses Pembakaran Batu Bara.
- b. Yang kedua proses Pembangkitan Uap.
- c. Yang terakhir Siklus Turbin Generator.

Beberapa peralatan pada PLTU seperti Turbin Generator, Ketel Uap, Kondensor, dan *Feedwater Heater* tersebut terhubung dengan cara menggunakan pipa yang tujuannya ialah untuk mengalirkan siklus Air dan Uap. Adapun rekayasa dan penambahan peralatan yang bertujuan untuk meningkatkan keefisienan dari siklus tersebut.

4.3 Perhitungan Nilai Efisiensi

Efisiensi tersebut dihitung pada saat Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) UBP Suralaya I-IV beroperasi pada saat beban berada pada 200 MW, 260 MW, 300 MW dan paling tinggi 400 MW. Yang dimana fase pada pembebanan tersebut jika dipersentasekan ialah 60%, 75%, 85%, dan 100%. Hal tersebut bertujuan agar mendapatkan manfaat atau mengetahui pada beban berapakah efisiensi pada PLTU tersebut didapat, dan juga dapat mengetahui bagian-bagian apa saja yang dapat mempengaruhi efisiensi kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tersebut. Dapat diketahui yang mana perhitungan efisiensi pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) tersebut dihitung menggunakan data *input* dan *output*.

4.3.1 Perhitungan Saat Berada Pada Pembebanan 200 MW

1. Perhitungan Nilai *Turbine Heat Rate*

Turbine Heat Rate ialah banyaknya kalor (kCal) yang dibutuhkan siklus *turbine* didalam sistem untuk membangkitkan daya sebesar 1 kWh, dan diketahui bahwa satuannya kCal/kWh.

Untuk menghitung nilai pada *Turbine Heat Rate* maka rumus yang digunakan ialah seperti berikut :

$$T. HR = \frac{\{(Msf. h1) - (FFwf. h2) + (HRhf. h3) - (CRhf. h4) + (AuxSf. h5) - (SHSpf. h6)\}}{PG}$$

Dimana :

Msf = *Main Steam Flow*

FFwf = *Final Feed water Flow*

HRhf = *Hot Reheater Flow*

CRhf = *Cold Reheater Flow*

AuxSf = *Auxiliary Steam Flow*

SHSpf = *Superheater Spray Water Flow*

PG = *Generators Output*

h1 = *Enthalpy Main Steam Flow*

h2 = *Enthalpy Final Feed Water Flow*

h3 = *Enthalpy Hot Reheater*

- h4 = *Enthalpy Cold Reheater Flow*
- h5 = *Enthalpy Auxiliary Steam Flow*
- h6 = *Enthalpy Superheater Spray Flow*

a. *Main Steam Flow x Enthalpy*

$$653250 \text{ kg/jam} \times 814.18 \text{ kCal/kg} = 531863085 \text{ kCal.}$$

b. *Flow Final Feed Water x Enthalpy*

$$637510 \text{ kg/jam} \times 206.37 \text{ kCal/kg} = 131562938.7 \text{ kCal.}$$

c. *Hot Reheater Flow x Enthalpy*

$$60678 \text{ kg/jam} \times 843 \text{ kCal/kg} = 51151554 \text{ kCal.}$$

d. *Cold Reheater Flow x Enthalpy*

$$606780 \text{ kg/jam} \times 733.80 \text{ kCal/kg} = 44525516.4 \text{ kCal.}$$

e. *Superheater Spray Water Flow x Enthalpy*

$$15750 \text{ kg/jam} \times 122.05 \text{ kCal/kg} = 1922287.5 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] - [b]] + [[c] - [d]] - [e]$$

$$[[400300146.3 \text{ kCal}] + [6626037.6 \text{ kCal}]] - [1922287.5 \text{ kCal}]$$

=

$$[[406926183.9 \text{ kCal}]] - [1922287.5 \text{ kCal}] = 405003896.4$$

kCal.

$$\frac{405003896.4 \text{ kCal}}{205000 \text{ kw}} = 1975.628763 \text{ kCal/kWh.}$$

2. Perhitungan *Efficiency Boiler*

Untuk menghitung *Efficiency Boiler* maka rumus yang digunakan ialah sebagai berikut :

[Aliran *Main Steam Flow* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy Final Feed Water*] + Aliran *S/H Spray Water* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy S/H Spray Water*]+ Aliran *Hot Reheater* [*Enthalpy Hot Reheater* – *Enthalpy Cold Reheater*] + Aliran *Reheater Spray*

$[Enthalpy\ Cold\ Reheater - Enthalpy\ Reheater\ Spray] / [Nilai\ Kalor\ x\ Batubara]$.

a. Aliran *Main Steam Flow* x $[Enthalpy\ Main\ Steam\ Flow - Enthalpy\ Final\ Feed\ Water]$.

$$653250\text{ kg/jam} \times [814.18\text{ kCal/kg} - 206.37\text{ kCal/kg}] = [607.81\text{ kCal/kg}] \times 653250\text{ kg/jam} = 397051882.5\text{ kCal}.$$

b. Aliran *S/H Spray Water* x $[Enthalpy\ Main\ Steam\ Flow - Enthalpy\ S/H\ Spray\ Water]$.

$$15750\text{ kg/jam} \times [814.18\text{ kCal/kg} - 122.05\text{ kCal/kg}] = [692.13\text{ kCal/kg}] \times 15750\text{ kg/jam} = 10901047.5\text{ kCal}.$$

c. Aliran *Hot Reheater* x $[Enthalpy\ Hot\ Reheater - Enthalpy\ Cold\ Reheater]$.

$$606780\text{ kg/jam} \times [843\text{ kCal/kg} - 733.80\text{ kCal/kg}] = [109.2\text{ kCal/kg}] \times 606780\text{ kg/jam} = 66260376\text{ kCal}.$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[a] + [b] + [c]$$

$$[397051882.5\text{ kCal}] + [10901047.5\text{ kCal}] + [66260376\text{ kCal}] = 474213306\text{ kCal}.$$

$$\frac{474213306\text{ kCal}}{587474292\text{ kCal}} = 0.08072069067\text{ kCal}.$$

$$0.08072069067\text{ kCal} \times 100\% = 8.072069067\%.$$

3. Perhitungan Nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*)

Untuk mendapatkan nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) maka dilakukan perhitungan seperti berikut :

$$Gross\ Plant\ Heat\ Rate\ (GPHR) = \frac{Turbine\ Heat\ Rate}{Efficiency\ Boiler} \text{ (kCal/kWh)}.$$

$$= \frac{1975.628763\text{ kCal}}{80.72069067\%} = 2447.487437$$

kCal/kWh.

Kemudian setelah nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) sudah diketahui maka selanjutnya mencari presentase *Thermal Efficiency*

Gross dengan memasukkan nilai hasil dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Thermal Efficiency Gross [100\%]} &= \frac{860 \text{ kCal}}{\text{Turbine Heat Rate}} \times 100\% \\ &= \frac{860 \text{ kCal}}{1975.628763 \text{ kCal/kWh}} \times 100\% \\ &= 40.3530\%. \end{aligned}$$

4.3.2 Perhitungan Saat Berada Pada Pembebanan 260 MW

1. Perhitungan Nilai *Turbine Heat Rate*

Turbine Heat Rate ialah banyaknya kalor (kCal) yang dibutuhkan siklus *turbine* didalam sistem ntuk membangkitkan daya sebesar 1 kWh, dan diketahui bahwa satuannya kCal/kWh.

Untuk menghitung nilai pada *Turbine Heat Rate* rumus yang digunakan seperti berikut :

$$T. HR = \frac{\{(Msf. h1) - (FFwf. h2) + (HRhf. h3) - (CRhf. h4) + (AuxSf. h5) - (SHSpf. h6)\}}{PG}$$

Dimana :

Msf = *Main Steam Flow*

FFwf = *Final Feed water Flow*

HRhf = *Hot Reheater Flow*

CRhf = *Cold Reheater Flow*

AuxSf = *Auxiliary Steam Flow*

SHSpf = *Superheater Spray Water Flow*

PG = *Generators Output*

h1 = *Enthalpy Main Steam Flow*

h2 = *Enthalpy Final Feed Water Flow*

h3 = *Enthalpy Hot Reheater*

h4 = *Enthalpy Cold Reheater Flow*

h5 = *Enthalpy Auxiliary Steam Flow*

h6 = *Enthalpy Superheater Spray Flow*

a. *Main Steam Flow x Enthalpy*

$$819170 \text{ kg/jam} \times 814.49 \text{ kCal/kg} = 667205773.3 \text{ kCal.}$$

b. *Flow Final Feed Water x Enthalpy*

$$798130 \text{ kg/jam} \times 218.33 \text{ kCal/kg} = 174255722.9 \text{ kCal.}$$

c. *Hot Reheater Flow x Enthalpy*

$$756010 \text{ kg/jam} \times 845.66 \text{ kCal/kg} = 639327416.6 \text{ kCal.}$$

d. *Cold Reheater Flow x Enthalpy*

$$756010 \text{ kg/jam} \times 715.75 \text{ kCal/kg} = 541114157.5 \text{ kCal.}$$

e. *Spray Water Flow x Enthalpy*

$$21030 \text{ kg/jam} \times 128.31 \text{ kCal/kg} = 2698359.3 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] - [b]] + [[c] - [d]] - [e]$$

$$[[492950050.4 \text{ kCal}] + [98213259.1 \text{ kCal}]] - [2698359.3 \text{ kCal}] =$$

$$[[591163309.5 \text{ kCal}]] - [2698359.3 \text{ kCal}] = 588464950.2 \text{ kCal.}$$

$$\frac{588464950.2 \text{ kCal}}{259250 \text{ KW}} = 2269.874446 \text{ kCal/kWh.}$$

2. Perhitungan *Efficiency Boiler*

Untuk menghitung *Efficiency Boiler* maka rumus yang digunakan ialah sebagai berikut :

[Aliran *Main Steam Flow* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy Final Feed Water*] + Aliran *S/H Spray Water* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy S/H Spray Water*] + Aliran *Hot Reheater* [*Enthalpy Hot Reheater* – *Enthalpy Cold Reheater*] + Aliran *Reheater Spray* [*Enthalpy Cold Reheater* – *Enthalpy Reheater Spray*]]/[Nilai Kalor x Batu Bara].

a. Aliran *Main Steam Flow* x [*Enthalpy Main Steam Flow* - *Enthalpy Final Feed Water*].

$$819170 \text{ kg/jam} \times [814.49 \text{ kCal/kg} - 218.33 \text{ kCal/kg}] = [596.16 \text{ kCal/kg}] \times 819170 \text{ kg/jam} = 488356387.2 \text{ kCal.}$$

b. Aliran *S/H Spray Water* x [*Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy S/H Spray Water*].

$$21030 \text{ kg/jam} \times [814.49 \text{ kCal/kg} - 128.31 \text{ kCal/kg}] = [686.18 \text{ kCal/kg}] \times 21030 \text{ kg/jam} = 14430365.4 \text{ kCal}.$$

c. Aliran *Hot Reheater* x [*Enthalpy Hot Reheater – Enthalpy Cold Reheater*].

$$756010 \text{ kg/jam} \times [845.66 \text{ kCal/kg} - 715.75 \text{ kCal/kg}] = [129.91 \text{ kCal/kg}] \times 756010 \text{ kg/jam} = 98213259.1 \text{ kCal}.$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] + [b] + [c]]$$

$$[488356387.2 \text{ kCal}] + [14430365.4 \text{ kCal}] + [98213259.1 \text{ kCal}] = 601000011.7 \text{ kCal}.$$

$$\frac{601000011.7 \text{ kCal}}{7294448076 \text{ kCal}} = 0.0823914305 \text{ kCal}.$$

$$0,0823914305 \text{ kCal} \times 100\% = 8.23914305\%.$$

3. Perhitungan Nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*)

Untuk mendapatkan nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) maka dilakukan perhitungan seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{Gross Plant Heat Rate (GPHR)} &= \frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{Efficiency Boiler}} \text{ (kCal/kWh)}. \\ &= \frac{2269.874446 \text{ kCal}}{8.23914305\%} = 27549.88513 \\ &\text{kCal/kWh}. \end{aligned}$$

Kemudian setelah nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) sudah diketahui maka selanjutnya mencari presentase *Thermal Efficiency Gross* dengan memasukkan nilai hasil dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Thermal Efficiency Gross [100\%]} &= \frac{860 \text{ kCal}}{\text{Turbine Heat Rate}} \times 100\% \\ &= \frac{860 \text{ kCal}}{2269.874446 \text{ kCal/KWH}} \times 100\% \\ &= 37.8875\%. \end{aligned}$$

4.3.3 Perhitungan Saat Berada Pada Pembebanan 300 MW

1. Perhitungan Nilai *Turbine Heat Rate*

Turbine Heat Rate ialah banyaknya kalor (kCal) yang dibutuhkan siklus *turbine* didalam sistem ntuk membangkitkan daya sebesar 1 kWh, dan diketahui bahwa satuannya kCal/kWh.

Untuk menghitung nilai pada *Turbine Heat Rate* rumus yang digunakan seperti berikut :

$$T. HR = \frac{\{(Msf. h1) - (FFwf. h2) + (HRhf. h3) - (CRhf. h4) + (AuxSf. h5) - (SHSpf. h6)\}}{PG}$$

Dimana :

Msf = *Main Steam Flow*

FFwf = *Final Feed water Flow*

HRhf = *Hot Reheater Flow*

CRhf = *Cold Reheater Flow*

AuxSf = *Auxiliary Steam Flow*

SHSpf = *Superheater Spray Water Flow*

PG = *Generators Output*

h1 = *Enthalpy Main Steam Flow*

h2 = *Enthalpy Final Feed Water Flow*

h3 = *Enthalpy Hot Reheater*

h4 = *Enthalpy Cold Reheater Flow*

h5 = *Enthalpy Auxiliary Steam Flow*

h6 = *Enthalpy Superheater Spray Flow*

a. *Main Steam Flow x Enthalpy*

$$976250 \text{ kg/jam} \times 813.76 \text{ kCal/kg} = 794433200 \text{ kCal.}$$

b. *Flow Final Feed Water x Enthalpy*

$$960940 \text{ kg/jam} \times 226.76 \text{ kCal/kg} = 217902754.4 \text{ kCal.}$$

c. *Hot Reheater Flow x Enthalphy*

$$898400 \text{ kg/jam} \times 841.94 \text{ kCal/kg} = 756398896 \text{ kCal.}$$

d. *Cold Reheater Flow x Enthalpy*

$$899400 \text{ kg/jam} \times 727.27 \text{ kCal/kg} = 654106638 \text{ kCal.}$$

e. *Spray Water Flow x Enthalpy*

$$15310 \text{ kg/jam} \times 135 \text{ kCal/kg} = 2066850 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] - [b]] + [[c] - [d]] - [e]$$

$$[[576530445.6 \text{ kCal}] + [102292258 \text{ kCal}]] - [2066850 \text{ kCal}] =$$

$$[[678822703.6 \text{ kCal}]] - [2066850 \text{ kCal}] = 676755853.6 \text{ kCal.}$$

$$\frac{676755853.6 \text{ kCal}}{302900 \text{ kw}} = 2234.255047 \text{ kCal/kWh.}$$

2. Perhitungan *Efficiency Boiler*

Untuk menghitung *Efficiency Boiler* maka rumus yang digunakan ialah sebagai berikut :

[Aliran *Main Steam Flow* [Enthalpy *Main Steam Flow* – Enthalpy *Final Feed Water*] + Aliran *S/H Spray Water*[Enthalpy *Main Steam Flow* – Enthalpy *S/H Spray Water*] + Aliran *Hot Reheater* [Enthalpy *Hot Reheater* – Enthalpy *Cold Reheater*] + Aliran *Reheater Spray* [Enthalpy *Cold Reheater* – Enthalpy *Reheater Spray*]]/[Nilai Kalor x Batubara].

a. Aliran *Main Steam Flow* x [Enthalpy *Main Steam Flow* - Enthalpy *Final Feed Water*].

$$976250 \text{ kg/jam} \times [813.76 \text{ kCal/kg} - 226.76 \text{ kCal/kg}] = [587 \text{ kCal}]$$

$$\times 976250 \text{ kg/jam} = 573058750 \text{ kCal.}$$

b. Aliran *S/H Spray Water* x [Enthalpy *Main Steam Flow* – Enthalpy *S/H Spray Water*].

$$15310 \text{ kg/jam} \times [813.76 \text{ kCal/kg} - 135 \text{ kCal/kg}] = [678.76 \text{ kCal}]$$

$$\times 15310 \text{ kg/jam} = 10391815.6 \text{ kCal.}$$

c. Aliran *Hot Reheater* x [Enthalpy *Hot Reheater* – Enthalpy *Cold Reheater*].

$$898400 \text{ kg/jam} \times [841.94 \text{ kCal/kg} - 727.27 \text{ kCal/kg}] = [114.67 \text{ kCal}]$$

$$\times 898400 \text{ kCal} = 103019528 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] + [b] + [c]]$$

$$[573058750 \text{ kCal}] + [10391815.6 \text{ kCal}] + [103019528 \text{ kCal}] = 686470093.6 \text{ kCal.}$$

$$\frac{686470093.6 \text{ kCal}}{761372937} = 0.90162134213478 \text{ kCal.}$$

$$0.90162134213478 \text{ kCal} \times 100\% = 90.16213478\%.$$

3. Perhitungan Nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*)

Untuk mendapatkan nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) maka dilakukan perhitungan seperti berikut :

$$\text{Gross Plant Heat Rate (GPHR)} = \frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{Efficiency Boiler}} \text{ (kCal/kWh).}$$

$$= \frac{2234.255047 \text{ kCal}}{90.16213478 \%} = 2478.041422$$

kCal/kWh.

Kemudian setelah nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) sudah diketahui maka selanjutnya mencari presentase *Thermal Efficiency Gross* dengan memasukkan nilai hasil dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Thermal Efficiency Gross [100\%]} = \frac{860 \text{ kCal}}{\text{Turbine Heat Rate}} \times 100\%$$

$$= \frac{860 \text{ kCal}}{2234.255047 \text{ kCal/kWh}} \times 100\%$$

$$= 38.4915\%.$$

4.3.4 Perhitungan Saat Berada Pada Pembebanan 400 MW

1. Perhitungan Nilai *Turbine Heat Rate*

Turbine Heat Rate ialah banyaknya kalor (kCal) yang dibutuhkan siklus *turbine* didalam sistem ntuk membangkitkan daya sebesar 1 kWh, dan diketahui bahwa satuannya kCal/kWh.

Untuk menghitung nilai pada *Turbine Heat Rate* rumus yang digunakan seperti berikut :

$$T. HR = \frac{\{(Ms.f. h1) - (FFwf. h2) + (HRhf. h3) - (CRhf. h4) + (AuxSf. h5) - (SHSpf. h6)\}}{PG}$$

Dimana :

Msf = *Main Steam Flow*

FFwf = *Final Feed water Flow*

HRhf = *Hot Reheater Flow*

CRhf = *Cold Reheater Flow*

AuxSf = *Auxiliary Steam Flow*

SHSpf = *Superheater Spray Water Flow*

PG = *Generators Output*

h1 = *Enthalpy Main Steam Flow*

h2 = *Enthalpy Final Feed Water Flow*

h3 = *Enthalpy Hot Reheater*

h4 = *Enthalpy Cold Reheater Flow*

h5 = *Enthalpy Auxiliary Steam Flow*

h6 = *Enthalpy Superheater Spray Flow*

a. *Main Steam Flow x Enthalpy*

$$1322910 \text{ kg/jam} \times 811.55 \text{ kCal/kg} = 1073607611 \text{ kCal.}$$

b. *Flow Final Feed Water x Enthalpy*

$$1317950 \text{ kg/jam} \times 242.21 \text{ kCal/kg} = 319220669.5 \text{ kCal.}$$

c. *Hot Reheater Flow x Enthalpy*

$$1208480 \text{ kg/jam} \times 837.52 \text{ kCal/kg} = 1012126170 \text{ kCal}$$

d. *Cold Reheater Flow x Enthalpy*

$$1208480 \text{ kg/jam} \times 734.17 \text{ kCal/kg} = 887229761.6 \text{ kCal.}$$

e. *S/H Spray Water Flow x Enthalpy*

$$4960 \text{ kg/jam} \times 144.50 \text{ kCal/kg} = 716720 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] - [b]] + [[c] - [d]] - [e]$$

$$[[754386941.5 \text{ kCal}] + [124896408.4 \text{ kCal}]] - [716720 \text{ kCal}] =$$

$$[[879283349.9 \text{ kCal}]] - [716720 \text{ kCal}] = 878566629.9 \text{ kCal.}$$

$$\frac{878566629.9 \text{ kCal}}{411490 \text{ kw}} = 2135.086223 \text{ kCal/kWh.}$$

2. Perhitungan *Efficiency Boiler*

Untuk menghitung *Efficiency Boiler* maka rumus yang digunakan ialah sebagai berikut :

[Aliran *Main Steam Flow* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy Final Feed Water*] + Aliran *S/H Spray Water* [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy S/H Spray Water*] + Aliran *Hot Reheater* [*Enthalpy Hot Reheater* – *Enthalpy Cold Reheater*] + Aliran *Reheater Spray* [*Enthalpy Cold Reheater* – *Enthalpy Reheater Spray*]]/[Nilai Kalor x Batubara].

a. Aliran *Main Steam Flow* x [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy Final Feed Water*].

$$1322910 \text{ kg/jam} \times [811.55 \text{ kCal/kg} - 242.21 \text{ kCal/kg}] = [569.34 \text{ kCal/kg}] \times 1322910 \text{ kg/jam} = 753185579.4 \text{ kCal.}$$

b. Aliran *S/H Spray Water* x [*Enthalpy Main Steam Flow* – *Enthalpy S/H Spray Water*].

$$4960 \text{ kg/jam} \times [811.55 \text{ kCal/kg} - 144.50 \text{ kCal/kg}] = [667.05 \text{ kCal/kg}] \times 4960 \text{ kg/jam} = 3308568 \text{ kCal.}$$

c. Aliran *Hot Reheater* x [*Enthalpy Hot Reheater* – *Enthalpy Cold Reheater*].

$$1208480 \text{ kg/jam} \times [837.52 \text{ kCal/kg} - 734.17 \text{ kCal/kg}] = [103.35 \text{ kCal/kg}] \times 1208480 \text{ kg/jam} = 124896408 \text{ kCal.}$$

Hasil dari perhitungan diatas :

$$[[a] + [b] + [c]]$$

$$[753185579.4 \text{ kCal}] + [3308568 \text{ kCal}] + [124896408 \text{ kCal}] = 881390555.4 \text{ kCal.}$$

$$\frac{881390555.4 \text{ kCal}}{992179753 \text{ kCal}} = 0.8883375747 \text{ kCal.}$$

$$0.8883375747 \times 100\% = 88.83375747\%.$$

3. Perhitungan Nilai *GPHR (Gross Plant Heat Rate)*

Untuk mendapatkan nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) maka dilakukan perhitungan seperti berikut :

$$\begin{aligned} \text{Gross Plant Heat Rate (GPHR)} &= \frac{\text{Turbine Heat Rate}}{\text{Efficiency Boiler}} \text{ (kCal/kWh).} \\ &= \frac{2135.086223 \text{ kCal}}{88.83375747 \%} = 2403.462697 \\ &\text{kCal/kWh.} \end{aligned}$$

Kemudian setelah nilai dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) sudah diketahui maka selanjutnya mencari persentase *Thermal Efficiency Gross* dengan memasukkan nilai hasil dari GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan cara menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Thermal Efficiency Gross [100\%]} &= \frac{860.01}{\text{GPHR}} \times 100\% \\ &= \frac{860 \text{ kCal}}{2135.086223 \text{ kCal/kWh}} \times 100\% \\ &= 42.7940\%. \end{aligned}$$

Setelah nilai *Turbine Heat Rate* dan *Efficiency Boiler* diketahui maka langkah selanjutnya ialah memasukkan atau mengelompokkan ke tabel. Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan nilai *Turbine Heat Rate* dan nilai *Efficiency Boiler* :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Nilai *Turbine Heat Rate*.

No	Uraian Perhitungan	<i>Turbine Heat Rate</i>			
		200 MW	260 MW	300 MW	400 MW
1	<i>Main Steam Flow x Enthalpy</i>	531863085 kCal	667205773. 3 kCal	794433200 kCal	10736076 11 kCal
2	<i>Flow Final Feed Water x Enthalpy.</i>	131562938. 7 kCal	174255722. 9 kCal	217902754. 4 kCal	31922066 9.5 kCal
3	<i>Hot Reheater Flow x Enthalpy.</i>	51151554 kCal	639327416. 6 kCal	756398896 kCal	10121261 70 kCal
4	<i>Cold Reheater Flow x Enthalpy.</i>	44525516.4 kCal	541114157. 5 kCal	654106638 kCal	88722976 1.6 kCal
5	<i>S/H Spray Water Flow x Enthapy.</i>	1922287.5 kCal	2698359.3 kCal	2066850 kCal	716720 kCal
6	<i>Nilai Turbine Heat Rate.</i>	1975.62876 3 kCal/kWh	2269.87444 6 kCal/kWh	2234.25504 7 kCal/kWh	2135.0862 23 kCal/kWh

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan *Efficiency Boiler*.

No	Uraian Perhitungan	<i>Efficiency Boiler</i>			
		200 MW	260 MW	300 MW	400 MW
1	Aliran <i>Main Steam Flow</i> x [<i>Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy Final Feed Water</i>].	397051882.5 kCal	488356387.2 kCal	573058750 kCal	753185579.4 kCal
2	Aliran <i>S/H Spray Water</i> x [<i>Enthalpy Main Steam Flow – Enthalpy S/H Spray Water</i>].	10901047.5 kCal	14430365.4 kCal	10391815.6 kCal	3308568 kCal
3	Aliran <i>Hot Reheater</i> x [<i>Enthalpy Hot Reheater – Enthalpy Cold Reheater</i>].	66260376 kCal	98213259.1 kCal	103019528 kCal	124896408 kCal
4	Nilai dari <i>Efficiency</i> .	80.72069067%	8.23914305%	90.16213478%	88.83375747%

4.4 Analisis Perhitungan

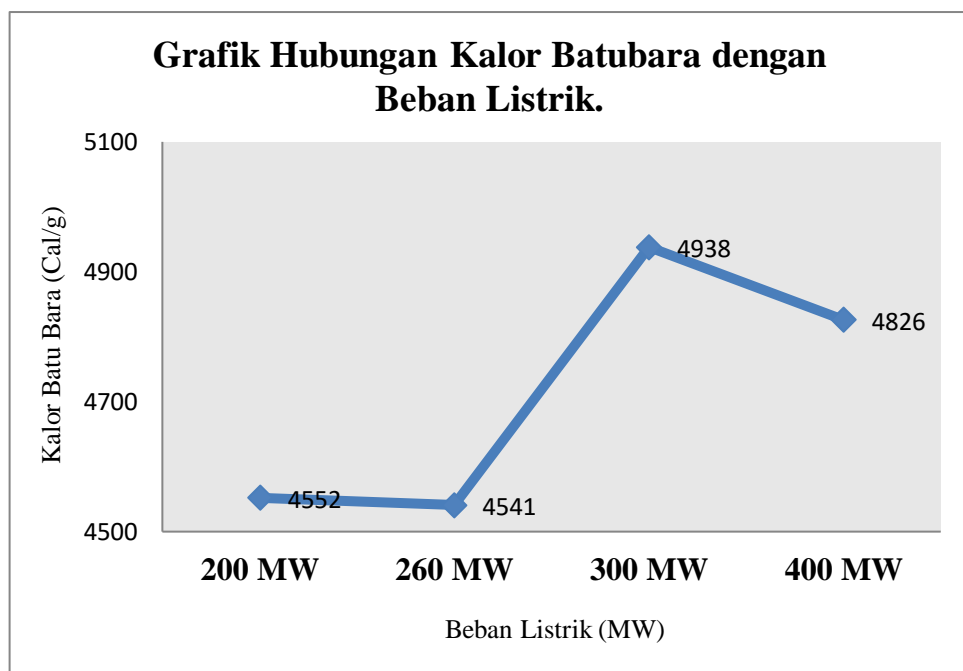
Dari data yang sudah didapat dan dilakukan perhitungan seperti diatas, maka didapatkan beberapa parameter yang tidak lain dapat digunakan untuk membandingkan unjuk kerja pembangkit yang beroperasi pada beban yang bervariasi (200 MW, 260 MW, 300 MW, dan 400 MW). Parameter-parameter tersebut diantaranya ialah, nilai *turbine heat rate*, nilai *efficiency boiler*, nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*), *thermal efficiency gross*, nilai kalor batubara, jumlah batubara yang telah digunakan di pembangkitan pada tiap kWh. Parameter-parameter tersebut selanjutnya dapat di kelompokkan pada tabel 4.3 seperti pada dibawah ini :

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Pada Beban Yang Bervariasi.

No	URAIAN	PEMBEBANAN			
		200 MW	260 MW	300 MW	400 MW
1	Nilai Kalor Batu Bara.	4552 Cal/g.	4541 Cal/g.	4938 Cal/g	4826 Cal/g.
2	Konsumsi Bahan Bakar Ton/Jam.	129.0585 Ton/Jam.	160.636 Ton/Jam.	154.1865 Ton/Jam.	205.5905 Ton/Jam.
3	<i>Turbine Heat Rate</i> kCal/kWh.	1975.6287 63 kCal/kWh.	2269.8744 46 kCal/kWh.	2234.2550 47 kCal/kWh.	2135.0862 23 kCal/kWh.
4	<i>Efficiency Boiler</i> .	80.720690 67%.	8.2391430 5%.	90.162134 78%.	88.833757 47%.
5	GPHR (<i>Gross Plant Heat Rate</i>).	2447.4874 37 kCal/kWh.	27549.885 13 kCal/kWh.	2478.0414 22 kCal/kWh.	2403.4626 97 kCal/kWh.
6	<i>Thermal Efficiency Gross</i> .	40.3530%.	37.8875%.	38.4915 %.	42.7940%.

Nilai efisiensi dari pembangkit berkisar pada angka 37%-42%, tetapi pembangkit tetap dikatakan efisien atau layak pakai, karena menurut teoritis pembangkit tidak efisien atau tidak layak pakai jika nilai rata-rata dibawah angka 30%. Yang tak lain semua itu disebabkan nilai kalor batubara yang digunakan, konsumsi bahan bakar yang digunakan, dan juga kemampuan sebuah *burner* untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk kedalam ruang bakar *boiler*.

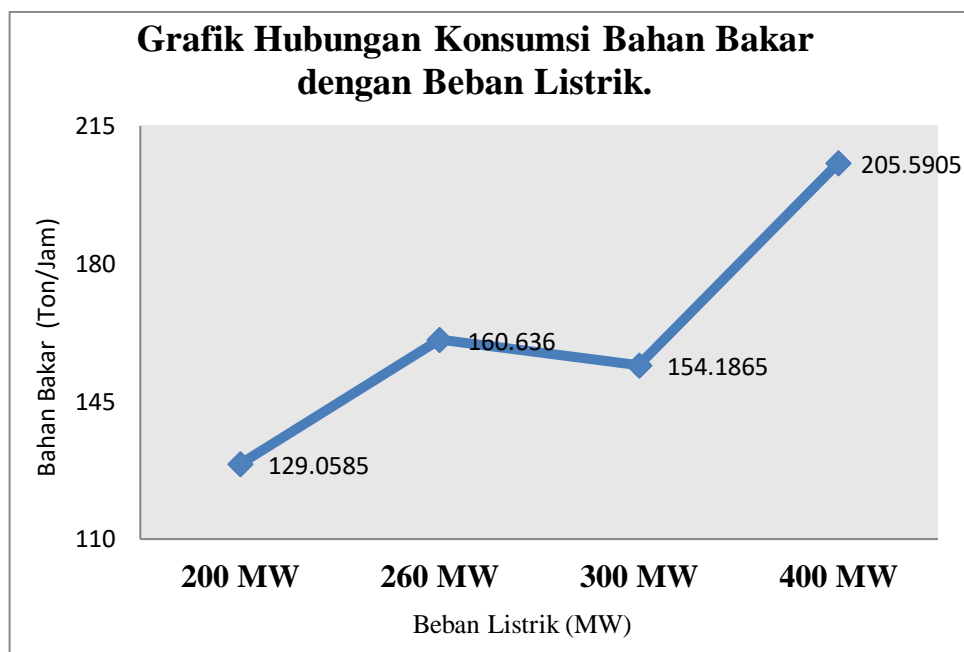
Setelah beberapa nilai sudah diketahui seperti yang tercantum pada tabel 4.3 diatas, maka langkah selanjutnya ialah membuat grafik, yang dimana nantinya grafik tersebut digunakan untuk perbandingan pembangkit pada beban yang bervariasi, dan grafik tersebut juga digunakan untuk menganalisa unjuk kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) UBP Suralaya tersebut.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kalor Batubara dengan Beban Listrik.

Dapat kita lihat pada gambar 4.1 diatas ialah tentang grafik hubungan nilai kalor batu bara dengan beban listrik, dimana nilai kalor tertinggi berada pada pembebanan 300 MW yaitu 4928 Cal/g, dan nilai kalor terendah berada pada

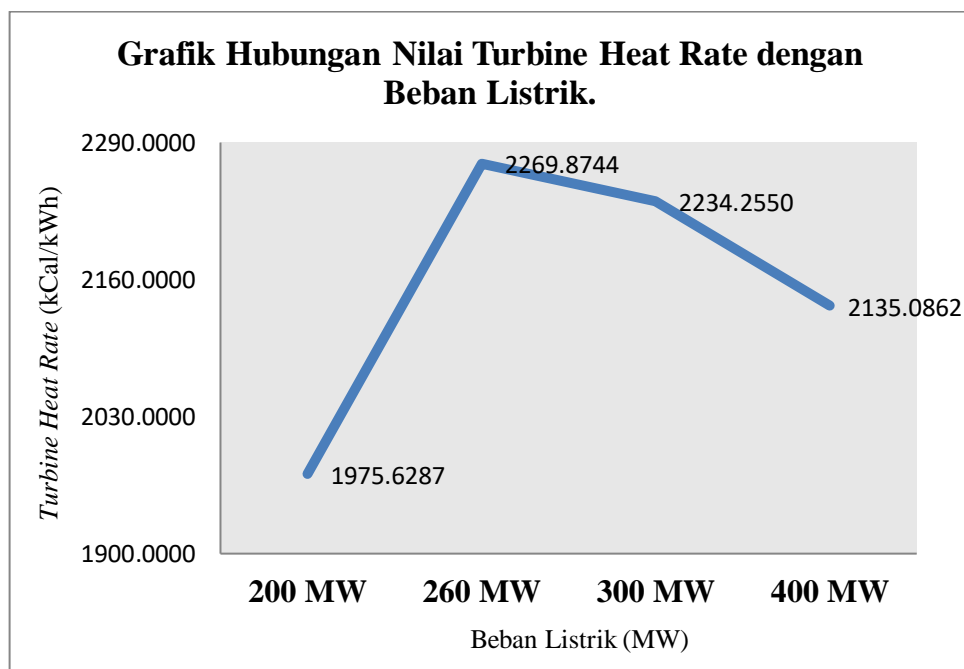
pembebanan 260 MW yaitu 4541 Cal/g. Pada saat pembakaran batubara pada waktu tersebut diketahui jenis batubara yang digunakan ialah jenis Berau, tetapi meskipun jenis batubara yang digunakan itu sama bukan berarti nilai kalor batubara pada tiap pembebanan yang dihasilkan pada saat pembakaran tersebut sama, semua itu dikarenakan pada setiap pembebanan jumlah batubara yang digunakan berbeda. Dan juga dalam setiap kapal yang muat batubara tersebut belum tentu batubara yang dimuat memiliki nilai kalor yang sama. Lebih jelasnya kita lihat pada gambar 4.4 diatas yang mana grafik pada gambar tersebut menunjukkan nilai pada setiap pembebanan tersebut memiliki nilai yang berbeda.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar dengan Beban Listrik.

Pada gambar 4.2 diatas ialah tentang grafik hubungan konsumsi bahan bakar dengan beban listrik, yang dimana kalau kita lihat pada grafik tersebut bahwa konsumsi bahan bakar pada pembebanan 200 MW sebesar 129,0585 Ton/Jam, dan pada pembebanan 260 MW sebesar 160,636 Ton/Jam, disitu kita bisa menganalisa bahwa antara pembebanan 200 MW dengan 260 MW mengalami perbedaan jumlah konsumsi bahan bakar yang dimana pada

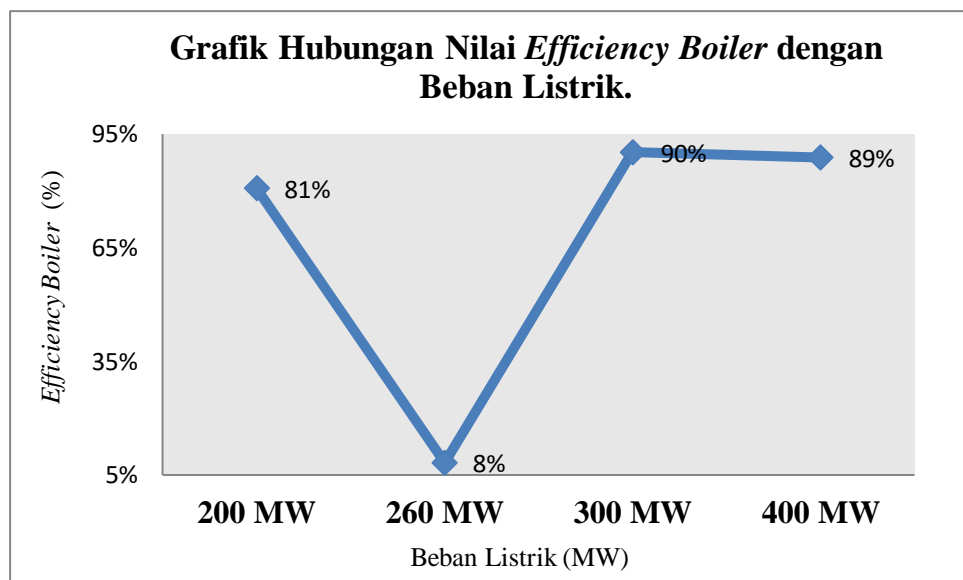
pembebanan 200 MW konsumsi bahan bakar lebih sedikit dibandingkan dengan pembebanan 260 MW, semua itu dikarenakan pada pembebanan 200 MW nilai kalor batubara lebih tinggi dibandingkan dengan pembebanan 260 MW, selanjutnya juga bisa dilihat pada pembebanan 300 MW dengan 400 MW, dimana pada pembebanan 300 MW konsumsi bahan bakar sebesar 154,1865 Ton/Jam, dan pada pembebanan 400 MW sebesar 205,5905 Ton/Jam, dapat kita lihat pada grafik bahwa pada pembebanan 300 MW konsumsi bahan bakar lebih sedikit dibandingkan pada pembebanan 400 MW, dan semua itu juga dikarenakan pada pembebanan 300 MW nilai kalor batubara lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor pada pembebanan 400 MW, dan juga nilai kalor pada pembebanan 260 MW. Jadi semakin tinggi nilai kalor batubara maka konsumsi bahan bakar akan lebih sedikit pada tiap pembebanannya, akan tetapi tergantung pada besarnya beban yang digunakan.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Nilai *Turbine Heat Rate* dengan Beban Listrik.

Dapat kita lihat pada gambar 4.3 diatas ialah tentang grafik hubungan nilai *turbine heat rate* dengan beban listrik, pada grafik diatas kita ketahui bahwa

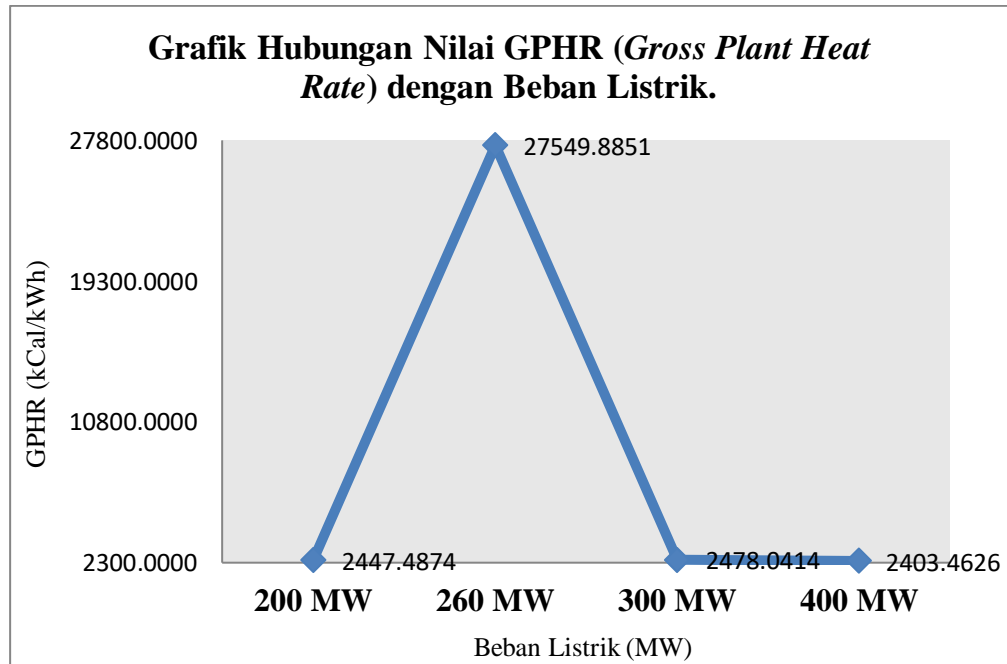
pada pembebanan 200 MW nilai *turbine heat rate* ialah 1975,6287 kCal/kWh, pada pembebanan 260 MW ialah 2269,8744 kCal/kWh, pada pembebanan 300 MW ialah 2234,2550 kCal/kWh dan pada pembebanan 400 MW ialah 2135,0862 kCal/kWh. Kemudian dapat kita analisa bahwa *nilai turbine heat rate* tertinggi berada pada pembebanan 260 MW, semua itu karena pada pembebanan 260 MW batubara yang digunakan mempunyai nilai kalor yang sangat rendah dibandingkan dengan batubara-batubara pada pembebanan 200 MW, 300 MW dan 400 MW. Jadi nilai kalor pada batubara tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai *turbine heat rate*.



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Nilai *Efficiency Boiler* dengan Beban Listrik.

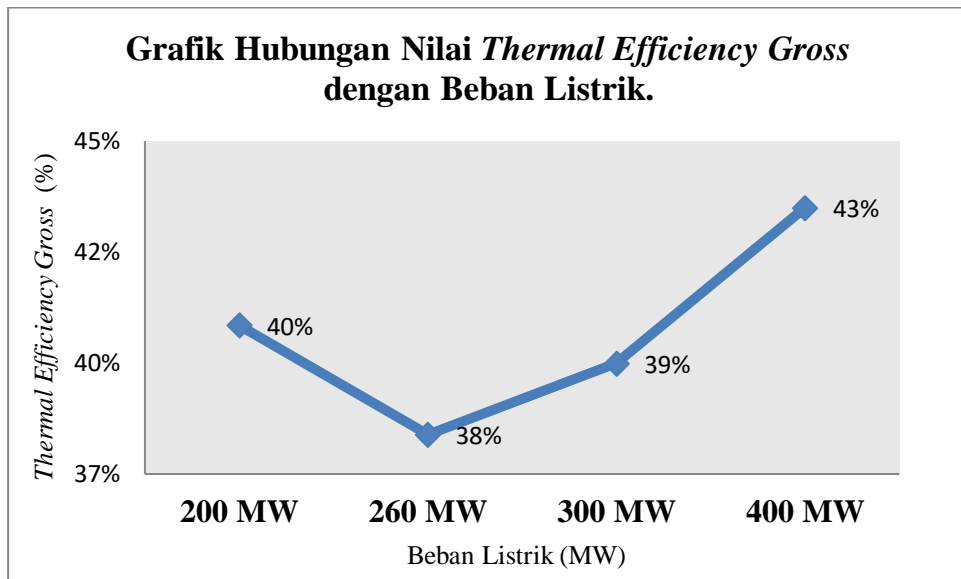
Dapat kita lihat pada gambar 4.4 diatas tentang grafik hubungan nilai *efficiency boiler* dengan beban listrik, kalau kita lihat pada grafik diatas pada fase pembebanan 260 MW nilainya paling rendah yaitu 8,231%, dan diketahui semua itu dipengaruhi oleh nilai kalor batubara, yang mana pada pembebanan 260 MW tersebut nilai kalor batubara hanya 4541 Cal/g, nilai kalornya merupakan nilai paling rendah dibandingkan pada pembebana 200 MW, 300 MW, dan 400 MW. Dan penyebabnya bisa dari jenis batubara yang digunakan. Karena jenis batubara yang digunakan akan berpengaruh pada nilai kalori yang digunakan untuk membakar air umpan *boiler*. Dan juga bisa

karena faktor *burner*, yang mana fungsi *burner* ialah untuk mencampur bahan bakar dan udara dengan proporsi yang sesuai untuk penyalaaan api dan untuk menjaga kondisi pembakaran yang terus menerus berjalan dengan baik.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan Beban Listrik.

Pada gambar 4.5 diatas ialah tentang grafik hubungan GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) dengan beban listrik, yang mana kalau kita lihat pada grafik diatas merupakan kebalikan dari gambar 4.4 *efficiency boiler*. Dimana pada grafik kali ini pada pembebanan 260 MW nilai yang didapat merupakan nilai paling tinggi yaitu 27549,886kCal/kWh. Dan perlu diketahui pada perhitungan untuk mendapatkan nilai GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) ini ialah dengan cara membandingkan nilai *turbine heat rate* dengan *efficiency boiler*. Pada grafik diatas dapat dianalisa bahwa jika nilai *turbine heat rate* besar dan nilai dari *efficiency boiler* rendah maka nilai yang didapat pada GPHR (*Gross Plant Heat Rate*) akan tinggi atau besar, dan begitu juga sebaliknya.



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Nilai *Thermal Efficiency Gross* dengan Beban Listrik.

Pada gambar 4.6 diatas ialah tentang grafik hubungan *thermal efficiency gross* dengan beban listrik, dan pada grafik ini kita dapat menganalisa tentang efisien atau tidak efisien tiap-tiap fase pembebanan pada pembangkit tersebut. Karena pada grafik 4.9 diatas merupakan grafik perhitungan akhir dari setiap fase pembebanan. Dapat kita lihat pada grafik bahwa tiap fase pembebanan memiliki nilai yang berbeda yaitu pada pembebanan 200 MW memiliki nilai *thermal efficiency gross* 40,3530%, pada 260 MW memiliki nilai *thermal efficiency gross* 37,8875%, pada beban 300 MW memiliki nilai *thermal efficiency gross* 38,4915% dan pada beban 400 MW memiliki nilai *thermal efficiency gross* 42,7940%. Disini dapat kita lihat bahwa pada pembebanan 260 MW *thermal efficiency gross* atau pada pembebanan tersebut memiliki tingkat ke-efisiensi yang sangat rendah, semua itu dikarenakan pada saat pembangkit menggunakan sumber daya yang tidak sebanding dengan energi yang dibangkitkan.

Tetapi meskipun pada tiap fase pembebanan memiliki nilai berbeda pembangkit tetap dikatakan efisien, karena pembangkit tidak dikatakan efisien atau tidak layak pakai jika nilai pada *thermal efficiency gross* berada pada angka dibawah 30%. Apabila pembangkit tersebut memiliki nilai

efisiensi yang tinggi maka akan sangat menguntungkan bagi pihak pembangkit.

Lain dari semua itu, pada pembangkit terdapat 3 jenis biaya yang menjadi parameter ekonomis dari suatu instalai, 3 jenis biaya tersebut ialah seperti berikut :

a. Biaya Investasi Awal.

Biaya investasi awal merupakan biaya yang digunakan untuk membangun instalasi pembangkit dan biaya investasi ini hanya dihitung sekali pada pembangunannya.

b. Biaya Bahan Baku.

Biaya bahan baku adalah biaya yang meliputi bahan bakar dan air bersih yang digunakan untuk menghasilkan uap, dimana bahan bakar yang digunakan ialah bahan bakar batubara dan pembangkit harus membelinya menggunakan uang, tetapi jika air bersih yang digunakan bisa didapatkan secara gratis karena pada ummnya air yang digunakan untuk membangkitkan listrik ialah berasal dari air laut, sehingga air tersebut didapatkan secara gratis.

c. Biaya Operasi.

Biaya operasiaonal adalah seperti biaya yang dikeluarkan untuk gaji karyawan, untuk perawatan, untuk penyimpanan material, penanganan material, dll. Hal tersebut juga harus diperhitungkan, karena banyaknya biaya operasi tersebut untuk semua pembebanan sama.

4.5 Perhitungan Biaya Pembangkitan

Dapat diketahui bahwa harga batubara yaitu sebesar Rp.800, dan biaya pembangkitan tiap satuan kWh diketahui setelah mengetahui harga tiap 1kg batubara. Perhitungan biaya pembangkitan tiap kWh tersebut dapat dilakukan dengan cara seperti berikut :

$$\text{Rp/kCal} \times \text{GPHR (Gross Plant Heat Rate)}$$

a. Pembebanan 200 MW

Diketahui :

Nilai Kalor : 4552 kCal.

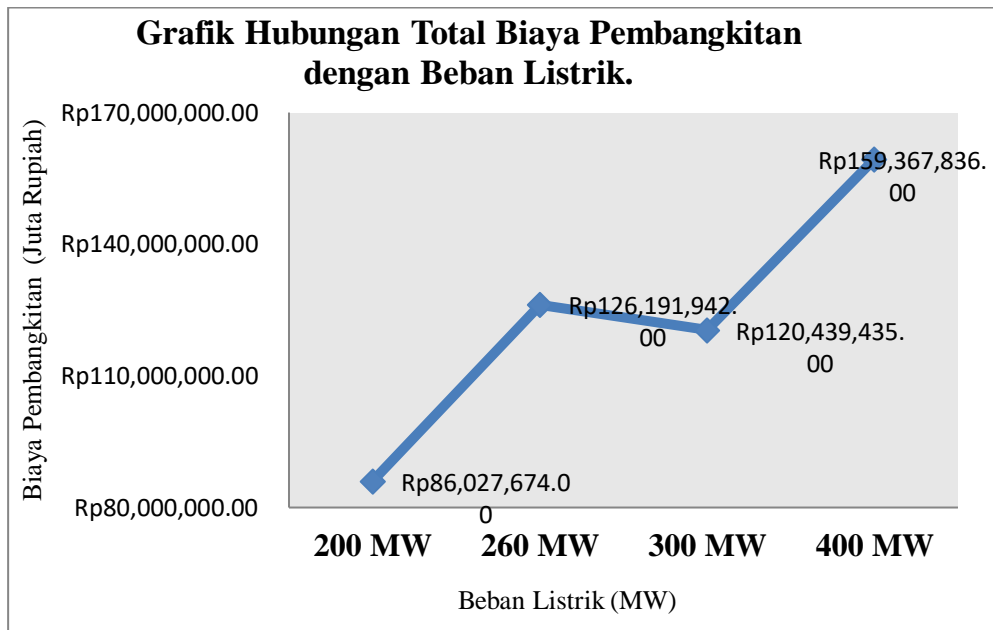
$$\begin{aligned} \text{Biaya Pembangkitan Tiap kWh} & : \text{ Harga Energi [Rp/kCal] x GPHR} \\ & \quad \text{[kCal/kWh]} = \\ & = 0.165769 \text{ Rp/kCal} \times 2403.4626 \text{ kCal/kWh.} \\ & = \text{Rp. 398.419591.} \\ \text{Total Biaya Pembangkitan} & : \\ \text{Rp. 398.419591} \times 400000 \text{ kWh} & = \text{Rp. 159.367.836} \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan tentang biaya pembangkitan listrik pada tiap kWh, maka selanjutnya membuat tabel atau memasukkan nilai pada tabel. Tabel tersebut seperti berikut :

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Biaya Pembangkitan

No	Uraian	Biaya Pembangkitan			
		200 MW	260 MW	300 MW	400 MW
1	Nilai Kalor Batu Bara.	4552 kCal.	4541 kCal.	4938 kCal.	4826 kCal.
2	Harga Energi.	0.1757469 2 Rp/kCal.	0.17617265 Rp/kCal.	0.16200891 Rp/kCal.	0.165769 Rp/kCal.
3	Biaya Pembangkitan Tiap kWh.	Rp. 430.13837 2	Rp. 485.353626	Rp. 401.464786	Rp. 398.419591
4	Total Biaya Pembangkitan.	Rp. 86.027.674	Rp. 126.191.942	Rp. 120.439.435	Rp. 159.367.836

Setelah data sudah di *input* ke dalam tabel, langkah selanjutnya ialah membuat grafik, dimana nantinya dilakukan analisa tentang grafik total biaya pembangkitan tersebut. Grafik total biaya pembangkitan seperti berikut :



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Total Biaya Pembangkitan dengan Beban Listrik.

Dapat kita lihat pada gambar 4.7 diatas ialah tentang grafik hubungan total biaya pembangkitan dengan beban listrik, dimana kalau kita lihat pada grafik bahwa biaya terbesar pembangkitan pada tiap kWh tersebut berada pada pembebanan 400 MW yaitu Rp. 159,367,836 dan biaya terendah pada pembebanan 200 MW yaitu Rp. 86,027,674. Kalau kita perhatikan pada gambar 4.2 tentang grafik konsumsi bahan bakar yaitu sama, konsumsi bahan bakar terbanyak juga terjadi pada pembebanan 400 MW, selain itu juga kalau kita perhatikan pada grafik dimana pada pembebanan 200 MW kedua grafik (gambar 4.2 dan gambar 4.7) juga berada dibawah dan pada pembebanan 260 MW pada kedua grafik mengalami peningkatan, pada pembebanan 300 MW pada kedua grafik mengalami penurunan dikarenakan nilai kalor lebih besar daripada pembebanan sebelumnya, tetapi pada pembebanan 400 MW kedua grafik kembali naik dan tak lain semua itu dikarenakan nilai kalor lebih sedikit dari pembebanan yang sebelumnya. Maka dari semua itu kita dapat menganalisa bahwa, total biaya pembangkitan ini berdasarkan seberapa banyak bahan bakar yang digunakan, dan seberapa besar nilai kalor yang didapat.

Selain itu dapat kita ketahui bahwa nilai efisien pada pembangkit berada pada pembebanan maksimum yaitu 400 MW, dan semua itu juga mempengaruhi biaya pembangkitan pada tiap kWh. Ketika pembangkit menghasilkan nilai efisien paling tinggi, dalam artian pembangkit menghasilkan energi listrik yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumber daya yang digunakan, maka disitu pembangkit akan mendapatkan keuntungan.