

# ANALISIS KESETIMBANGAN ENERGI PADA BOILER TIPE *PULVERIZED COAL* BERDASARKAN PENCAMPURAN BATUBARA KALORI MENENGAH DAN BATUBARA KALORI RENDAH

Wisnu Yoga Prasetya<sup>1†††</sup>, La Ode M. Firman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

## ABSTRAK.

Suatu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) menggunakan batubara sebagai bahan bakar utamanya. PLTU dituntut untuk memiliki biaya pokok produksi listrik yang murah serta mempunyai efisiensi yang baik. Terbatasnya jumlah batubara yang di produksi dan mahalnya batubara saat ini merupakan salah satu contoh permasalahan pada PLTU di Indonesia. Dengan demikian dibutuhkan suatu upaya agar biaya pokok produksi listrik tetap murah dengan cara melakukan pencampuran batubara antara batubara kalori menengah dengan batubara kalori rendah. Analisis kesetimbangan energi pada boiler adalah suatu analisis perhitungan yang harus diperhatikan dalam proses produksi listrik di PLTU untuk mengetahui besarnya penurunan efisiensi dan mengetahui penyebab kehilangan panas dari penurunan efisiensi. Penulisan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil perhitungan efisiensi boiler dan *heat rate*, kemudian membandingkan penggunaan batubara campuran yang dipakai ketika pengujian performa tes dengan batubara pada saat pengujian *commissioning* di PLTU LBX. Pengambilan data dengan melaksanakan pengujian performa tes dan metode observasi di PLTU LBX. Metode perhitungan yang digunakan adalah berdasarkan standar ASME PTC. Dalam perhitungan kesetimbangan energi diperlukan analisis bahan bakar bakar, hal ini dibutuhkan karena kita dapat melakukan analisis dengan membandingkan batubara campuran sehingga kita dapat melakukan perbaikan agar PLTU dapat beroperasi secara optimal dan mempunyai efisiensi yang baik. Hasil perhitungan dan analisis ketika dilakukan performa tes menunjukkan efisiensi boiler PLTU LBX terbaik sebesar 83,95% dan *Net Plant Heat Rate* (NPHR) terbaik sebesar 2.705,42 kCal/kWh. Biaya pokok penyediaan (BPP) tenaga listrik PLTU LBX masih rendah pada semua variasi pencampuran batubara, sehingga masih sangat menguntungkan berdasarkan kepmen esdm no 55 tahun 2019 di wilayah Jawa.

**Kata kunci :** *PLTU, efisiensi, boiler, batubara*

## PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) merupakan salah satu pembangkit listrik yang di kelola oleh PT PLN (persero) untuk menyuplai sebagian besar kebutuhan listrik ke konsumen. Pada PLTU LBX terdapat beberapa komponen untuk menjalankan berbagai sistem maupun siklus yang ada pada pembangkit. Salah satu komponen utamanya adalah boiler (ketel uap). Didalam boiler terjadi proses konversi energi yaitu energi kimia yang berasal dari bahan bakar batubara akan diubah menjadi energi panas pada proses pembakaran. Energi panas akan mendidihkan air yang ada didalam pipa-pipa boiler menjadi uap. Uap ini kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap dan selanjutnya turbin uap dikopel dengan generator akan menghasilkan listrik.

PLTU LBX menggunakan bahan bakar batubara kalori menengah (*Medium Rank Coal*, MRC) dan batubara kalori rendah (*Low Rank Coal*, LRC). Pencampuran bahan bakar batubara berguna untuk menghemat biaya produksi dan menjaga performa PLTU LBX. Pencampuran dari kedua jenis batubara ini dilakukan dengan menggunakan metode *in-furnace blending* maupun *coal mixing*, yaitu dengan cara mengumpukan satu jenis batubara saja pada setiap *coal burner*. Sehingga pencampuran batubara dengan menggunakan komposisi tertentu dapat diperoleh nilai kalor batubara yang mendekati nilai kalor desain dari boiler tersebut.

††† Corresponding author: [wisnuyogaprasetya@gmail.com](mailto:wisnuyogaprasetya@gmail.com)

Berdasarkan rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL) PLN tahun 2019-2028, produksi batubara yang ada di Indonesia yaitu sekitar 400 juta ton tiap tahunnya, sedangkan cadangan batubara di Indonesia sebesar 24.239,96 juta ton dan tidak ada penambahan cadangan baru. Dimana dari jumlah tersebut batubara kalori rendah dan kalori menengah yang paling banyak. Sehingga diperkirakan cadangan batubara di Indonesia akan habis dalam kurun waktu 61 tahun yaitu tahun 2079. Pemerintah Indonesia menerapkan kebijakan *domestic market obligation* (DMO) untuk memenuhi kebutuhan batubara dalam negeri dan melindungi harga batubara. Dari penetapan DMO ini, maka PLTU dapat menekan biaya pokok produksi (BPP) dengan mendapatkan harga batubara sebesar 70 USD per ton. DMO ditetapkan sebesar 25% dari produksi nasional, dimana 80% merupakan untuk kebutuhan pembangkit listrik. <sup>[19]</sup>

Performa PLTU (*heat rate*) sangat ditentukan oleh efisiensi panas pada proses pembakaran, sehingga suatu boiler dapat dikatakan baik apabila nilai efisiensinya tinggi yaitu jumlah energi keluar haruslah mendekati energi yang masuk. Metode yang digunakan untuk mengetahui efisiensi boiler adalah metode *input-output* dan metode kehilangan panas (*heat loss*). Namun, terkadang efisiensi suatu boiler tidak sepenuhnya selalu sama dari tahun ke tahun mengingat pasti adanya suatu peralatan yang tidak bekerja optimal atau terjadi kerusakan sehingga dapat mempengaruhi kinerja dari boiler dan nilai kalor dari bahan bakar batubara.

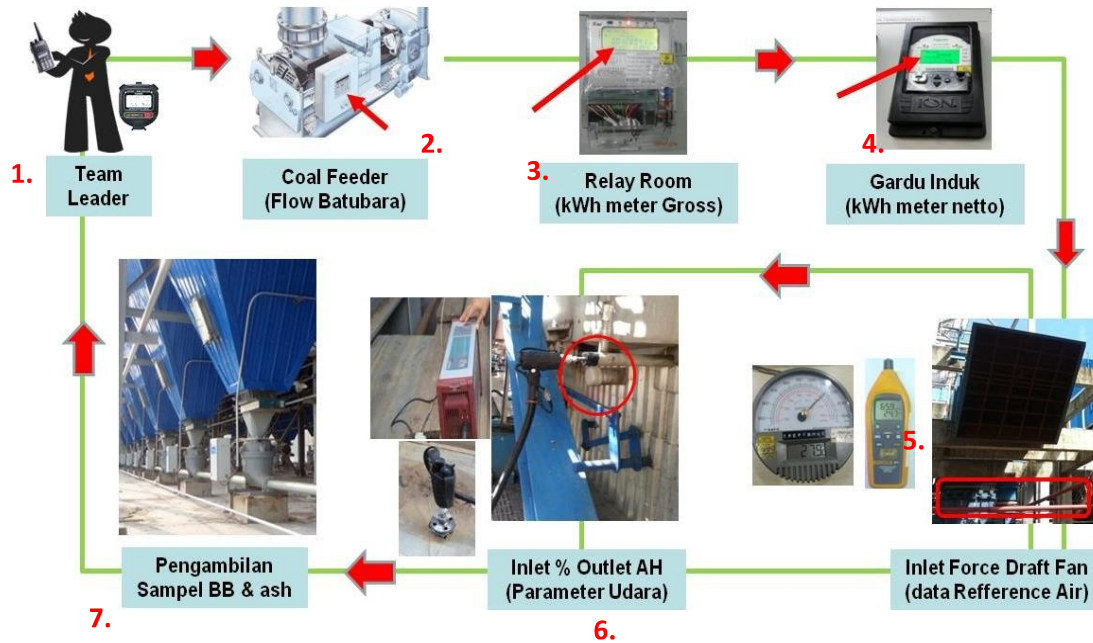
## METODE

### Metode Pengujian dan Pengambilan data

Berdasarkan standar *American Society of Mechanical Engineers Performance Test Code 4* (ASME PTC 4) untuk pelaksanaan *performance test* dengan boiler tipe *pulverized coal* pada PLTU LBX 300 MW waktu pengambilan data selama 2 jam dengan interval pengambilan data 15 menit. Proses stabilisasi beban dilakukan selama 1 jam.

Adapun kondisi yang harus diperhatikan selama pengujian *performance test* berdasarkan standar ASME PTC 4 yaitu :

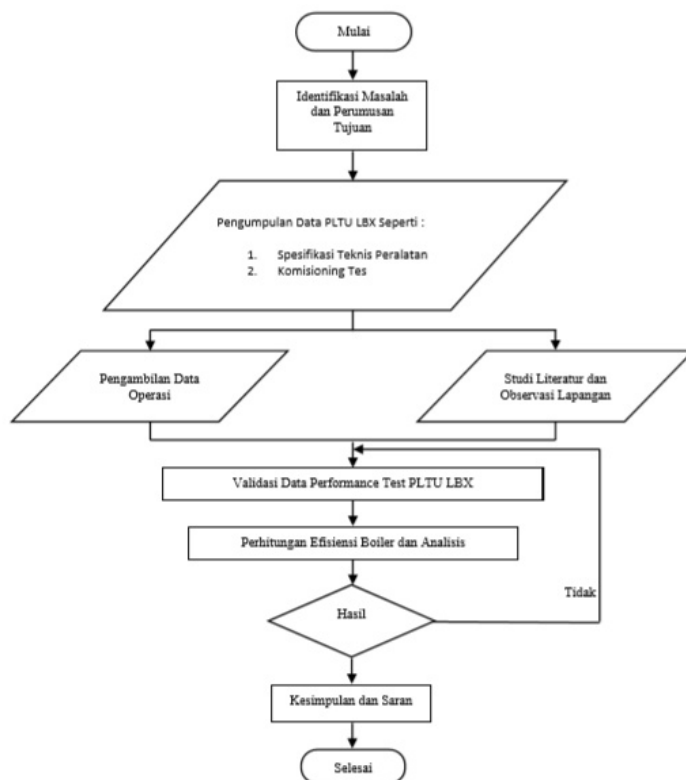
1. Tidak dilakukan *sootblowing* selama pengambilan data *performance test*. *Sootblowing* adalah proses menghilangkan *slagging* dan *fouling* pada pipa di boiler dengan menggunakan uap bertekanan tinggi. *Sootblowing* tidak boleh dioperasikan karena dapat berakibat kehilangan uap pada *steam cycle*.
2. Unit pembangkit dioperasikan dengan kondisi *isolated*. Kondisi *isolated* adalah kondisi tidak ada pengoperasian *blowdown* dan *make up water valve* ditutup penuh.
3. Sampel batubara diambil pada *coal feeder* selama 3 kali selama proses pengambilan data berlangsung, yaitu diawal pengujian, ditengah dan diakhir pengujian *performance test*.
4. Sampel *fly ash* dan *bottom ash* diambil di akhir pengujian *performance test*. Pengambilan *fly ash* dilakukan pada *hopper* ESP yang telah dikosongkan sebelumnya.



Gambar 1. Diagram Proses Performance Test

### Metode Pengolahan Data dan Perhitungan

Formulir pencatatan data lokal untuk pengujian *performance test*, sehingga akan mempermudah dalam mencari data yang akan diolah. Semua data pencatatan lokal bisa ditulis pada formulir tersebut. Kemudian pengambilan data dari *record DCS (Digital Control System)* yang biasanya sudah di konversi dalam bentuk excel. Pencatatan data parameter yang diambil dari DCS akan diolah dengan data lokal dan dimasukkan dalam perhitungan efisiensi boiler dalam bentuk excel. Terdapat juga data *print screen* dari komputer yang ada di *Central Control Room (CCR) PLTU*. Data *print screen* berguna jika terdapat kekurangan dari pencatatan data lokal dan data *record DCS*, sehingga hanya sebagai data tambahan.



Gambar 2. Flow Chart Metode Perhitungan

## HASIL

### Analisis Batubara

Perhitungan efisiensi boiler salah satu komponen utamanya yaitu dengan melakukan analisis sampel batubara di laboratorium batubara. Sampel batubara dan sampel abu baik itu *bottom ash* dan *fly ash* yang telah diambil pada saat *performance test*. Kemudian dilakukan analisis di laboratorium untuk mengetahui kandungan batubara yang diperlukan antara lain yaitu hasil analisis *proximate* dan *ultimate* berbasis *as received* (ar) yang telah dilakukan di laboratorium batubara.

Tabel 1. Analisis *Proximate* dan *Ultimate* Batubara

Parameter	Unit	180 MW	210 MW	240 MW	300 MW	Commissioning (300 MW)
Coal Ratio	%	50 MRC : 50 LRC	50 MRC : 50 LRC	70 MRC : 30 LRC	70 MRC : 30 LRC	50 MRC : 50 LRC
Nilai Kalori Batubara (HHV-AR)	kCal/kg	4.343	4.312	4.682	4.672	4.360
Nilai Kalori Batubara (HHV-AR)	kJ/kg-f	18.199,22	18.069,47	19.618,64	19.577,05	18.271,15
Analisis <i>Ultimate</i>	Unit	180 MW	210 MW	240 MW	300 MW	Commissioning (300 MW)
Carbon Content (AR)	%	46,10	45,72	48,78	48,53	48,56
Hydrogen Content (AR)	%	3,35	3,36	3,37	3,43	3,51
Oxygen Content (AR)	%	13,24	13,46	12,49	12,33	12,78
Sulfur Content (AR)	%	0,22	0,25	0,35	0,34	0,09
Nitrogen Content (AR)	%	0,74	0,72	0,84	0,87	0,69
Ash Content (AR)	%	3,94	4,04	4,53	4,09	5,92
Moisture Content (AR)	%	32,41	32,45	29,64	30,41	28,45
Analisis <i>Proximate</i>	Unit	180 MW	210 MW	240 MW	300 MW	Commissioning (300 MW)
Total Moisture Content (AR)	w%	32,41	32,45	29,64	30,41	28,45
Fixed Carbon Content (AR)	%	31,46	30,55	32,68	32,45	31,66
Volatile Matter (AR)	%	32,19	32,96	33,15	33,05	33,97
Ash Content (AR)	%	3,94	4,04	4,53	4,09	5,92

### Efisiensi Boiler

Perhitungan efisiensi boiler dengan metode kehilangan panas (*heat loss method*) dapat ditentukan dengan mengetahui jumlah *losses* yang terjadi pada boiler dan energi (*heat credit*) yang terbawa masuk ketika proses pembakaran di boiler, sehingga dapat dihitung dengan contoh perhitungan pada beban 300 MW menggunakan rumus sebagai berikut :

#### Perhitungan Losses Boiler (SmQL)

- Menghitung *dry gas losses* atau panas yang terbuang pada *dry flue gas* yang keluar dari boiler

$$L1 = (HDFgLvCr \times MFrDFg) / Hf \times 100 [\%]$$

$$= 6,85 \%$$

- Menghitung *losses* akibat kandungan air (*moisture*) dalam bahan bakar

$$L2 = MFrWF \times (HstLvCr - Hw) / Hf \times 100 [\%]$$



$$= 4,34 \%$$

- Menghitung *losses* terbentuknya uap air akibat kandungan hidrogen dalam bahan bakar

$$L3 = MfrWH2F \times (HstLvCr - Hw)/Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$= 4,37 \%$$

- Menghitung *losses* akibat kandungan air (*moisture*) di udara

$$L4 = (MFrWA \times HWvLvCr)/Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$= 0,17 \%$$

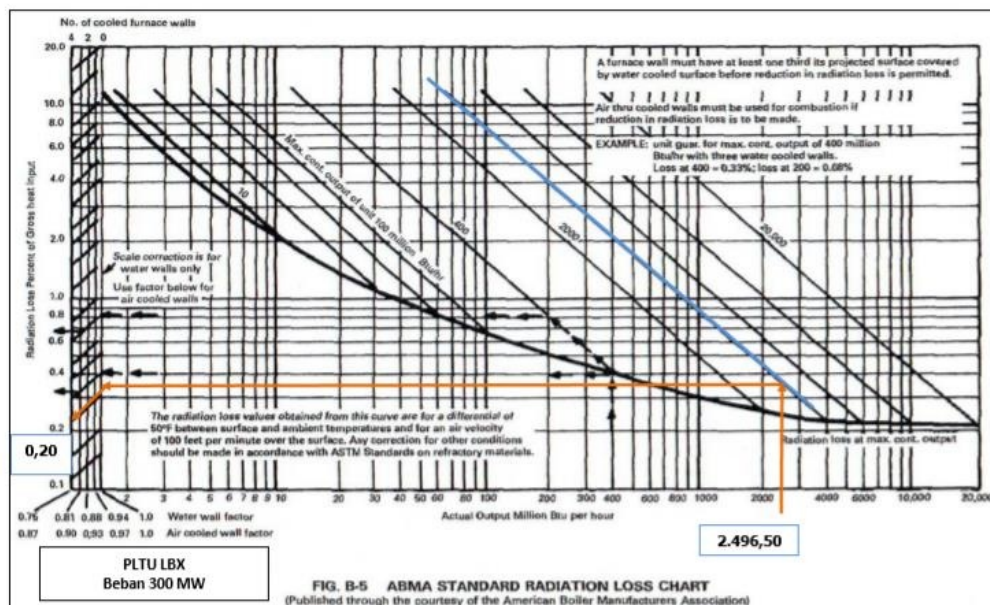
- Menghitung *losses* akibat adanya karbon yang tak terbakar (*unburned carbon*)

$$L5 = (MpUbc/100) \times 33.700/Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$= 0,02 \%$$

- *Losses* akibat radiasi dan konveksi permukaan

Karena radiasi dan konveksi atau radiation loss terjadi melalui dinding ruang bakar. Penentuan nilai radiation loss menggunakan standar yang telah ditentukan oleh *American Boiler Manufacturers Association* (ABMA) yang dapat dilihat pada grafik dibawah ini :



Gambar 3. Diagram ABMA

- Kehilangan panas akibat *losses* yang tidak terukur (*unmeasured losses*). *Losses* ini sudah ditetapkan pada desain boiler sebesar  $L7 = 0,28 \%$

- Menghitung *losses* akibat *sensible heat* di *bottom ash*

$$L8 = 0,1 \times MFrR \times HCba \times (TCba - Tre)/Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$L8 = 0,05 \%$$

- Menghitung *losses* akibat *sensible heat* di *fly ash*

$$L9 = 0,9 \times MFrR \times HCfa \times (TFgLv - Tre)/Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$L9 = 0,03 \%$$

- Menghitung *losses* akibat terbentuknya karbon monoksida (CO) pada gas buang

$$L10 = 23.630,3 \times DVpCO \times MpCb/(DVpCO + DVpCO2)/Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$L10 = 0,35 \%$$

- Menghitung jumlah *losses* pada boiler

$$SmQL = L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8 + L9 + L10 \text{ [%]}$$

$$SmQL = 15,86 \%$$

Perhitungan Heat Credit (SmQB)

Heat credit ini meliputi *heat credit* udara masuk, *moisture* pada udara masuk dan *sensible heat* pada bahan bakar.

- Menghitung *credit* pada udara masuk

$$QqBDA = (MFrDA \times HDA) / Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$QqBDA = 0,41 \text{ %}$$

- Menghitung *credit* pada *moisture* di udara masuk

$$QqBWA = (MFrWA \times HWv) / Hf \times 100 \text{ [%]}$$

$$QqBWA = 0,01 \text{ %}$$

- Besarnya *credit* sensible heat pada bahan bakar

$$QqB = \{ [MFrFc] / 100 \times [HFcRe] + [MFrVm1] \times [HVM1Re] + [MFrVm2] \times [HVM2Re] +$$

$$[MFrWF] / 100 \times [HWRRe] + [MFrAsF] / 100 \times [HRsrRe] \} / Hf \times 100 \text{ [%]}$$

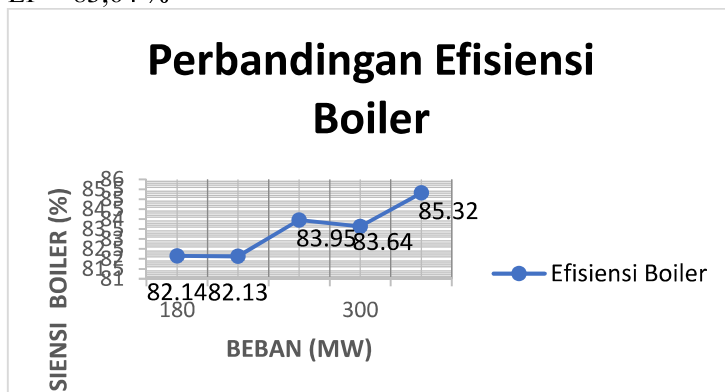
$$QqBF = 0,08 \text{ %}$$

**HASIL DAN ANALISIS EFISIENSI BOILER (EF)**

Setelah didapatkan hasil dari losses yang terjadi pada boiler dan heat credit, maka dapat dihitung efisiensi boiler sebagai berikut :

$$EF = 100 - SmQL + SmQB \text{ [%]}$$

$$EF = 83,64 \text{ %}$$



Gambar 4. Grafik Perbandingan Efisiensi Boiler terhadap Beban

Berdasarkan tabel 1. dapat dilihat bahwa hasil pencampuran batubara (*coal mixing*) didapatkan nilai kalori batubara sebesar 4.343 kCal/kg pada beban 180 MW ; 4.312 kCal/kg pada beban 210 MW dan 4.682 kCal/kg pada beban 240 MW. Beban 300 MW didapatkan nilai kalori batubara yang lebih tinggi yaitu sebesar 4.672 kCal/kg, jika dibandingkan dengan nilai kalori pada saat *commissioning test* yaitu sebesar 4.360 kCal/kg. Jika hasil nilai kalori batubara lebih tinggi, maka energi yang masuk ke dalam boiler juga lebih tinggi. Oleh karena itu nilai kalori batubara berhubungan langsung dengan jumlah kalori yang masuk ke dalam boiler. Hasil dari pencampuran batubara ketika beban 300 MW mengakibatkan penurunan efisiensi boiler sebesar 1,68 % jika dibandingkan saat *commissioning test*.

Daya pada Boiler

Menghitung daya pada boiler (Q) dengan contoh perhitungan pada beban 300 MW dapat dicari sebagai berikut :

$$m \times h_1 + Q = m \times h_2 \text{ [MW]}$$

$$Q = 543.796,02 \text{ kW} = 543,80 \text{ MW}$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Daya Boiler

Parameter	Unit	Beban 180 MW	Beban 210 MW	Beban 240 MW	Beban 300 MW	Commissioning (300 MW)

Daya Boiler	MW	314,83	369,68	411,86	543,80	570
Final Feedwater Flow	kg/h	518.338,32	608.641,74	678.094,88	895.311,54	938.450,02
Enthalpy of Main Steam	kJ/kg	3.435,46	3.425,41	3.410,25	3.404,26	3.393,06

Tabel 2. menunjukkan bahwa semakin tinggi beban PLTU yang dibangkitkan, maka akan semakin besar daya boiler yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh *feedwater flow* yang masuk kedalam boiler dan main steam yang dihasilkan dari boiler.

#### Analisis Hasil Specific Coal Consumption (SCC)

Data jumlah pemakaian batubara didapatkan dari *counter* batubara yang terdapat di *coal feeder* selama pengujian *performance test*, sehingga dapat dilakukan contoh perhitungan sebagai berikut :

$$SCC = CC/Daya \text{ Produksi [kg/kWh]}$$

Sehingga *specific coal consumption* (SCC) diperoleh :

Tabel 3. Hasil *Specific Coal Consumption* (SCC)

Parameter	Unit	180 MW	210 MW	240 MW	300 MW
<i>Coal Ratio</i>	%	50 MRC : 50 LRC	50 MRC : 50 LRC	70 MRC : 30 LRC	70 MRC : 30 LRC
Pemakaian Batubara per-jam (CC)	Kg	112.704	127.978	135.139	165.216
Daya <i>Gross</i> Produksi	kWh	183.000	211.000	242.000	300.000
SCC <sub>Gross</sub>	Kg/kWh	0,616	0,607	0,558	0,551

Berdasarkan tabel 3. terlihat bahwa semakin besar beban atau daya yang dibangkitkan dari PLTU LBX, maka konsumsi spesifik batubara (SCC) akan semakin kecil. SCC *gross* paling besar ketika berada pada beban 180 MW yaitu sebesar 0,616 kg/kWh. Kemudian SCC *gross* paling kecil ketika berada pada beban maksimum 300 MW yaitu sebesar 0,551 kg/kWh. Pada saat beban rendah 180 MW nilai SCC *gross* yang paling besar. Hal ini terjadi karena ketika beban rendah, jumlah *main steam* masuk yang dibutuhkan turbin lebih sedikit daripada ketika beban maksimum. Sehingga ekstraksi uap dari turbin yang digunakan sebagai fluida pemanas air umpan pada *low pressure heater*, *deaerator* dan *high pressure heater* akan memiliki temperatur yang kurang. Akibat kurang optimalnya kinerja dari pemanas air umpan tersebut, maka boiler akan membutuhkan konsumsi batubara yang lebih banyak untuk digunakan memanaskan air hingga berubah menjadi uap *superheat*.

#### Analisis Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Tenaga Listrik

Batubara PLTU LBX di pasok oleh PT ADC dan PT BA, dimana PT ADC memasok batubara kalori menengah dan PT BA memasok batubara kalori rendah. Setelah didapatkan nilai SCC, maka dapat dihitung BPP pembangkitan tenaga listrik PLTU LBX sebagai berikut :

Diketahui :

Tabel 4. Total Harga Batubara Pemasok

No.	Pemasok	Harga (Rp/kg)			
		Batubara	Transportasi	Pajak	Total
1.	PT BA	526,17	117,75	64,392	708,312
2.	PT ADC	753,71	166	91,971	1.011,681

Tabel 5. Total Harga Setelah dilakukan *Coal Mixing*

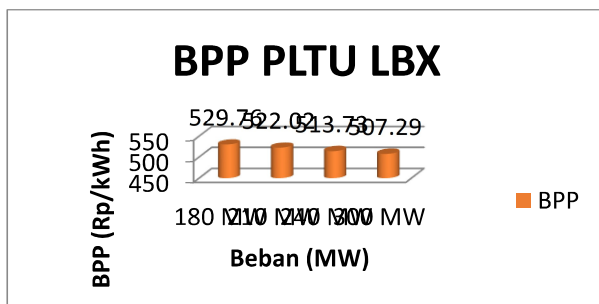
No.	Coal Ratio	Total Harga (Rp/kg)
1.	50% MRC : 50% LRC	859,997
2.	70% MRC : 30% LRC	920,67

Sehingga setelah diketahui total harga dari pencampuran batubara, maka didapatkan biaya pokok penyediaan tenaga listrik contoh pada beban 300 MW sebagai berikut :

$$BPP = 0,551 \times 920,67$$

$$= 507,29 \text{ [Rupiah/kWh]}$$

Didapatkan hasil BPP pada setiap beban dengan masing-masing pencampuran batubara yaitu :



Gambar 5. Grafik BPP terhadap Beban

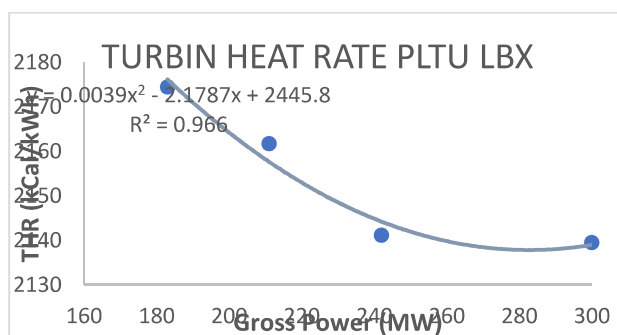
Sesuai grafik gambar 4.11 terlihat bahwa PLTU LBX dengan menggunakan pencampuran batubara 50% MRC dan 50% LRC ketika beban 180 MW membutuhkan BPP sebesar Rp 529,76 per kWh dan saat beban 210 MW membutuhkan BPP sebesar Rp 522,02 per kWh. Untuk pencampuran batubara 70% MRC dan 30% LRC pada beban 240 MW dibutuhkan BPP sebesar Rp 513,73 per kWh dan pada beban maksimum 300 MW dibutuhkan BPP sebesar Rp 507,29 per kWh. Sehingga BPP pembangkitan tenaga listrik PLTU LBX paling murah adalah ketika beban maksimum dengan pencampuran batubara 70% MRC dan 30% MRC.

### Turbin Heat Rate

Turbin *heat rate* dapat dihitung dengan mengetahui energi masuk dan energi keluar pada turbin, maka turbin *heat rate* (contoh perhitungan pada beban 300 MW) :

$$HRT = Q/P_{gg} = (Q_{ms} + Q_{hrs} - Q_f - Q_{crs} - Q_{is} - Q_{ir}) / P_{gg} \text{ [kCal/kWh]}$$

$$HRT = 2.139,52 \text{ [kCal/kWh]}$$



Gambar 5. Grafik Turbin *Heat Rate* terhadap Beban *Gross*

Hasil turbin *heat rate* berdasarkan grafik gambar 5. terlihat bahwa besarnya beban mempengaruhi turbin *heat rate*, sehingga semakin tinggi beban maka turbin *heat rate* akan semakin baik. Beban 180 MW dengan pencampuran batubara 50% MRC : 50% LRC didapatkan turbin *heat rate* sebesar 2.174,50 kCal/kWh, beban 210 MW dengan pencampuran batubara 50% MRC : 50% LRC didapatkan turbin *heat rate* sebesar 2.161,78 kCal/kWh, beban 240 MW dengan pencampuran batubara 70% MRC : 30% LRC didapatkan turbin *heat rate*



sebesar 2.141,22 kCal/kWh, beban 300 MW dengan pencampuran batubara 70% MRC : 30% LRC didapatkan turbin *heat rate* sebesar 2.139,52 kCal/kWh. Sehingga nilai turbin *heat rate* paling bagus pada pengujian *performance test* ketika beban 300 MW. Dari grafik tersebut didapatkan persamaan  $y = 0,0039x^2 - 2,1787x + 2445,8$ .

### Daya pada Turbin Uap

Daya yang dihasilkan pada turbin uap dapat diketahui dengan cara mengetahui energi masuk dan energi keluar dari turbin uap. Dengan mengetahui kedua hal tersebut maka daya turbin uap (W) dapat dihitung dengan contoh perhitungan pada beban 300 MW :

$$m \times h_1 = W + Q + m \times h_2 \text{ [MW]}$$

$$W = 836,74 \text{ MW}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Turbin Uap

Parameter	Unit	Beban 180 MW	Beban 210 MW	Beban 240 MW	Beban 300 MW	Commissioning (300 MW)
Coal Ratio	%	50 MRC : 50 LRC	50 MRC : 50 LRC	70 MRC : 30 LRC	70 MRC : 30 LRC	50 MRC : 50 LRC
Daya Turbin Uap	MW	498,46	574,01	650,96	836,74	570

Tabel 6. menunjukkan bahwa semakin tinggi beban PLTU yang dibangkitkan, maka akan semakin besar daya turbin uap yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh *main steam* yang masuk kedalam turbin uap dan keluaran dari turbin uap.

### Plant Heat Rate dan Efisiensi Thermal

*Heat rate* PLTU terbagi menjadi 2 yaitu *Gross Plant Heat Rate* (GPHR) yang menghasilkan daya *gross* atau bruto yang dibangkitkan, sedangkan *Net Plant Heat Rate* (NPHR) merupakan daya bersih atau *netto* yang dibangkitkan dari suatu PLTU setelah dikurangi oleh *auxiliary power*. Tabel 7. memperlihatkan hasil dari perhitungan *plant heat rate* dan efisiensi *thermal* sebagai berikut :

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Heat Rate* dan Efisiensi *Thermal*

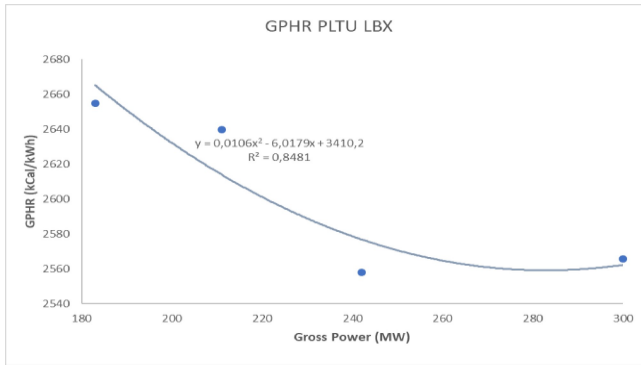
No.	Beban (MW)	Nilai Kalor (HHV-Ar) kCal/kg	Daya (Meter Counter)			Heat Rate Metode Kesetimbangan Energi		Eff. Thermal Power Plant %
			Gross	Netto	UAT	GPHR HHV	NPHR HHV	
			MW	MW	MW	kCal/kWh	kCal/kWh	
1.	180	4.343	183,00	167,36	15,02	2.654,88	2.893,19	29,72
2.	210	4.312	211,00	197,44	13,03	2.639,79	2.814,00	30,56
3.	240	4.682	242,00	227,04	14,43	2.558,08	2.720,66	31,60
4.	300	4.672	300,00	283,98	15,49	2.565,49	2.705,42	31,78
5.	Commissioning (300)	4.360	302,37	290,85	15,64	2.152,94	2.218,97	38,75

### Gross Plant Heat Rate (GPHR)

*Gross Plant Heat Rate* (GPHR) dapat dihitung dengan contoh perhitungan pada beban 300 MW :

$$GPHR = Q / (\eta_B(HHV) \times \eta_{GT}) \times P_{gg} \text{ [kCal/kWh]}$$

$$GPHR = 2.565,49 \text{ kCal/kWh}$$



Gambar 6. Grafik GPHR terhadap *Gross Power*

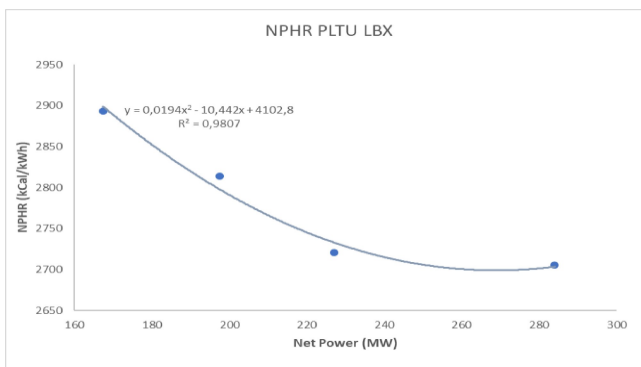
Berdasarkan grafik gambar 6. didapatkan persamaan  $y = 0,0106x^2 - 6,0179x + 3410,2$ . GPHR paling tinggi terdapat pada beban 180 MW dengan pencampuran batubara 50% MRC : 50% LRC yaitu sebesar 2.654,88 kCal/kWh. Sedangkan GPHR paling rendah (bagus) terdapat pada beban 240 MW dengan pencampuran batubara 70% MRC : 30% LRC yaitu sebesar 2.558,08 kCal/kWh. Perlu diketahui bahwa semakin rendah GPHR dari pembangkit tersebut, maka PLTU tersebut semakin optimal. Tabel 4.12 menunjukkan terdapat deviasi kenaikan GPHR pengujian *performance test* pada beban 300 MW jika dibandingkan dengan saat *commissioning* yaitu sebesar 19,16%.

### Net Plant Heat Rate (NPHR)

*Net Plant Heat Rate* (NPHR) dapat dihitung dengan contoh perhitungan pada beban 300 MW :

$$\text{NPHR} = Q / (\eta_B(\text{HHV}) \times \eta_{\text{GT}}) \times P_g \text{ Net [kCal/kWh]}$$

$$\text{NPHR} = 2.705,42 \text{ kCal/kWh}$$



Gambar 7. Grafik NPHR terhadap *Netto Power*

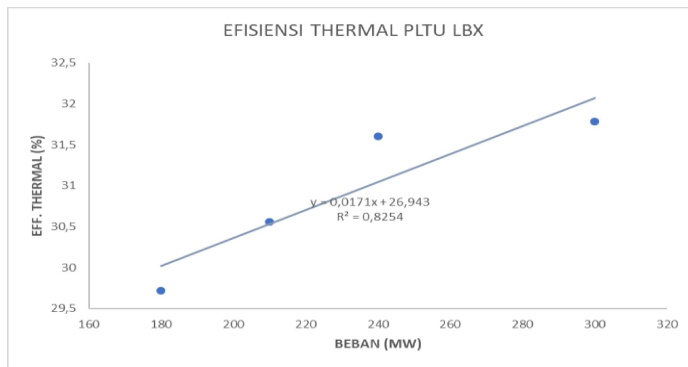
Berdasarkan grafik gambar 7. didapatkan persamaan  $y = 0,0194x^2 - 10,442x + 4102,8$ . Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar daya *netto* yang dibangkitkan, maka akan semakin kecil NPHR yang dihasilkan. NPHR paling tinggi terdapat pada beban 180 MW dengan pencampuran batubara 50% MRC : 50% LRC yaitu sebesar 2.893,19 kCal/kWh. Sedangkan NPHR paling rendah (bagus) terdapat pada beban 300 MW dengan pencampuran batubara 70% MRC : 30% LRC yaitu sebesar 2.705,42 kCal/kWh. Tabel 4.12 menunjukkan terdapat deviasi kenaikan NPHR pengujian *performance test* pada beban 300 MW jika dibandingkan dengan saat *commissioning* yaitu sebesar 17,98%. Jumlah pemakaian daya dari unit *auxiliary* mempengaruhi besarnya NPHR. Hal ini karena sumber daya unit *auxiliary* berasal dari beban generator yang dibangkitkan, sehingga apabila daya unit *auxiliary* yang dibutuhkan besar maka *netto power* yang dihasilkan akan berkurang banyak.

### Efisiensi Thermal

Efisiensi *thermal* dapat dihitung dengan contoh perhitungan pada beban 300 MW :

$$\eta_{\text{Thermal}} = \{3600 / (\text{NPHR} \times 4.1868)\} \times 100 [\%]$$

$\eta_{\text{Thermal}} = 31,78 \%$



Gambar 8. Grafik Efisiensi *Thermal* terhadap Beban

Berdasarkan grafik gambar 8. didapatkan persamaan  $y = 0,0171x + 26,943$ . Dari grafik tersebut terlihat bahwa semakin besar beban yang dibangkitkan, maka akan semakin besar efisiensi *thermal* yang dihasilkan. Efisiensi *thermal* tertinggi adalah 31,78% pada saat beban 300 MW, sedangkan efisiensi *thermal* terendah adalah 29,72% pada saat beban 180 MW. Pengaruh efisiensi *thermal* terhadap beban yaitu sebesar 82,5%, sehingga PLTU LBX akan bekerja optimal dan efisien jika beroperasi pada beban maksimum 300 MW. Pada tabel 4.12 terdapat deviasi penurunan efisiensi *thermal* sebesar 17,98% ketika pengujian *performance test* pada beban 300 MW jika dibandingkan saat *commissioning*.

## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Berdasarkan analisis dari hasil dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Efisiensi boiler terbaik ketika dilakukan *performance test* adalah saat beban 240 MW sebesar 83,95% dengan pencampuran batubara 70% MRC : 30% LRC menghasilkan nilai kalori batubara 4.682 kCal/kg. Sedangkan efisiensi boiler paling rendah ketika dilakukan *performance test* beban 210 MW yaitu 82,13% dengan pencampuran batubara 50% MRC : 50% LRC menghasilkan nilai kalori batubara 4.312 kCal/kg.
- Terdapat deviasi penurunan efisiensi boiler saat *performance test* beban 300 MW, jika dibandingkan dengan *commissioning* sebesar 1,68% serta menghasilkan *output kWh* yang lebih rendah dibanding nilai *commissioning*. Penurunan efisiensi boiler dipengaruhi oleh 3 *losses terbesar* yaitu *heat loss* akibat panas yang terbuang pada *dry flue gas*, *heat loss* akibat kandungan air (*moisture*) dalam bahan bakar dan *heat loss* terbentuknya uap air akibat kandungan hidrogen dalam bahan bakar.
- Nilai GPHR terbaik yaitu 2.558,08 kCal/kWh saat *performance test* beban 240 MW. Sedangkan nilai NPHR terbaik yaitu 2.705,42 kCal/kWh saat *performance test* beban 300 MW.
- Terdapat deviasi kenaikan nilai *heat rate*, baik itu GPHR dan NPHR saat *performance test* beban 300 MW jika dibandingkan dengan *commissioning* masing-masing sebesar 19,16% dan 17,98%.

### Saran

- Mengoptimalkan penggunaan dari *sootblower* secara berkala, guna membersihkan *heat transfer surface* dari *slagging* dan *fouling* pada area didalam boiler.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. J. MORAN, *FUNDAMENTALS OF ENGINEERING THERMODYNAMICS EDITION 8*. 2003.
- [2] Y. C. Guo, C. K. Chan, and K. S. Lau, "Numerical studies of pulverized coal combustion in a tubular coal combustor with slanted oxygen jet," *Fuel*, vol. 82, no. 8, pp. 893–907, 2003.
- [3] M. H. Murdani, "PENGENALAN PEMBANGKIT," in *Pembangkit Listrik*, 2016.
- [4] S. M. Muhammad Miftah Noor Rizca, Qomariyatus Sholihah, "ANALISIS BEBAN GENERATOR TERHADAP NILAI HEAT RATE DAN," *Heat Rate*, vol. 3, no. 2, pp. 73–84, 2018.

- 
- [5] A. T. A. Ubaidillah Anwar, "MODEL MATEMATIKA UNTUK OPTIMASI NILAI KALORI BATUBARA BLENDING DI PT. BATUBARA BUKIT KENDI TANJUNG ENIM – SUMATERA SELATAN," *Fuel*, pp. 26–27, 2011.
- [6] Y. Prasetyo, "Fuels and Combustion," *fuels*, no. May, pp. 5–8, 2014.
- [7] M. H. MURDANI, ANDI KURNIAWAN, "Boiler Performance," *BOILER*, 2006.
- [8] Z. Tang *et al.*, "Experimental investigation of ash deposits on convection heating surfaces of a circulating fluidized bed municipal solid waste incinerator," *J. Environ. Sci. (China)*, vol. 48, pp. 169–178, 2016.
- [9] C. Asme, "FIRED STEAM GENERATORS," *ASME PTC 4*, vol. 2008, 2008.
- [10] C. Asme, "Fired Steam Generators," *ASME PTC 4*, 2013.
- [11] C. Asme, "AIR HEATERS," *ASME PTC 4.3*, 1968.
- [12] C. Asme, "FLUE AND EXHAUST GAS ANALYSES," *ASME PTC 19.10*, 1981.
- [13] A. A. Nugroho, "ANALISA PENGARUH KUALITAS BATUBARA TERHADAP BIAYA PEMBANGKITAN (STUDI KASUS DI PLTU REMBANG)," *PLTU*, vol. 7, no. 1, pp. 23–32, 2014.
- [14] Wahyono and H. Teguh, "Penggunaan mix coal terhadap efisiensi pembangkit dan biaya produksi listrik (bpl) di pltu tanjung jati b unit 3," *EKSERGI J. Tek. Energi*, vol. 11, no. 2, pp. 53–60, 2015.
- [15] N. P. Soelaiman, Sofyan, "Analisa prestasi kerja turbin uap pada beban yang bervariasi," *Turbin Heat Rate*, pp. 1–12, 2009.
- [16] C. Asme, "Steam Turbines," *ASME PTC 6*, no. February, 2004.
- [17] J. Tsou, "Heat Rate Improvement Reference Manual," in *Heat Rate*, 1998.
- [18] A. Aziz, "EVALUASI HEAT RATE DAN EFISIENSI SUATU PLTU," *Heat Rate*, pp. 1–6, 2015.
- [19] MENTERI ESDM, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik," 2019.