

**ANALISIS PENGARUH KUALITAS BATU BARA TERHADAP PERFORMA  
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP**

**Iqbal Dima Naufal<sup>1</sup>, Dianta Mustofa Kamal<sup>1</sup>, Agus Sukandi<sup>1</sup>, Pribadi Mumpuni Adhi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*

*Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus Baru UI, Depok, 16425, Indonesia*

*Tel: (62-21) 7863530, Fax: (62-21) 7863530*

*Email: [iqbal.dima@outlook.com](mailto:iqbal.dima@outlook.com)*

**ABSTRAK**

*Batu bara menyumbang kurang lebih 80% dari total keseluruhan biaya operasional yang dikeluarkan oleh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) setelah biaya perawatan dan biaya administrasi. Kualitas batu bara harus sesuai dengan desain boiler yang ada, agar performa PLTU dapat dipertahankan pada kondisi yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh komposisi kualitas batu bara terhadap performa pembangkitan yang meliputi ketersediaan (availability), keandalan (reability), efisiensi, dan profit fuel cost saving. Pada penelitian ini dilakukan analisis pencampuran (coal blending) batu bara kualitas rendah (Low Rank Coal) dengan kualitas menengah (Medium Rank Coal) yang didapatkan dari pemasok tambang batu bara yang berbeda. Hasil perhitungan high heating value (HHV) untuk desain boiler adalah sebesar 4440,45 kcal/kg. Tiga sampel, yaitu A, B, dan C, yang didapatkan dari coal blending memiliki nilai HHV berturut-turut sebesar 4437 kcal/kg, 4387,5 kcal/kg, dan 4237,5 kcal/kg. Net plant heat rate yang didapatkan untuk sampel A, B, dan C berturut-turut adalah 2447,3 kcal/kWh, 2504,95 kcal/kWh, dan 2611,16 kcal/kWh. Nilai ketersediaan yang dinyatakan dalam equivalent availability factor (EAF) dan kehandalan yang dinyatakan dalam equivalent force out-rage factor (EFOR). Hasil dari sampel A, B, dan C berturut-turut untuk EAF adalah 95,36%, 85,81%, dan 70,33%, dan untuk EFOR adalah 0,11%, 5,85%, dan 29,67%. Keuntungan pembangkit listrik ditinjau dari fuel saving cost untuk satu unit pembangkit dengan daya mampu netto (DMN) 280 MW, untuk sampel A, B, dan C berturut-turut, adalah 2,46 miliar rupiah, 2,43 miliar rupiah, dan 2,42 miliar rupiah per hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sedikit perbedaan nilai perhitungan HHV antara desain boiler dengan sampel batu bara dapat memengaruhi performa pembangkitan.*

*Kata Kunci: Kualitas Batu Bara, Performa Pembangkitan, Keuntungan Pembangkit Listrik*

**ABSTRACT**

*Coal accounts for approximately 80% of the total operational costs incurred by the steam power plant after maintenance and administration costs. The quality of coal must be compatible with the existing boiler design, therefore the utilization of coal in terms of quality must compatible with the existing boiler design in order to maintain the optimal condition of steam power generation performance. This study aims to analyze the effect of coal quality composition on the generation performance including availability, reliability, efficiency, and profit fuel cost saving. In this study, the low-quality coal and medium-quality coal that obtained from different coal mine suppliers is blended. The calculation result of High heating value (HHV) for boiler design is 4440,45 kcal/kg. Three samples, namely A, B, and C, obtained from coal blending had HHV values of 4437 kcal/kg, 4387.5 kcal/kg, and 4237.5 kcal/kg, respectively. The net plant heat rates obtained from samples A, B, and C are 2447,3 kcal/kWh, 2504,95 kcal/kWh, and 2611,16 kcal/kWh. The value of availability expressed in equivalent availability factor (EAF) and reliability expressed in equivalent force out-rage factor (EFOR). The results showed that EAF for samples A, B, and C were 95,36%, 85,81%, and 70,33%; and for EFOR were 0,11%, 5,85%, and 29,67%, respectively. The profit generated from the fuel saving cost for a unit of 280 MW net capacity (DMN), for samples A, B, and C are 2.46 billion rupiahs, 2.43 billion rupiahs, and 2.42 billion rupiahs per day, respectively. The results of this study indicate that slightly different HHV calculation values between boiler design and coal samples can affect the performance of the generation.*

*Keywords: Coal Quality, Generation Performance, Power Plant Profits*

## I. PENDAHULUAN

### I.I Latar belakang

Indonesia merupakan salah satu dari sepuluh negara penghasil batu bara terbesar di seluruh di dunia [1]. Total sumber daya dan cadangan batu bara nasional sebesar 105,2 miliar ton [2]. Sedangkan nilai cadangan sebesar 21,13 miliar ton. Besarnya cadangan batu bara nasional menyebabkan peningkatan produksi batu bara setiap tahunnya. Perkembangan teknologi berlangsung sangat cepat terutama dalam bidang konversi energi. Pemakaian konsumsi global energy saat ini lebih terpusatkan dalam non-renewable energy. Dilansir dari Renewable Energy Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century (REN21), penggunaan konsumsi energi fosil dunia yaitu batu bara sebesar 78,4% yang merupakan persentase terbanyak dibandingkan dengan energi nuklir sebesar 2,3% dan renewable energi sebesar 19,3%. Saat ini batu bara merupakan bahan bakar utama dalam industri pembangkitan terutama pada pembangkit listrik tenaga uap. Total listrik yang dihasilkan secara global adalah 23.322 TWh pada tahun 2013 di mana 41,3% dihasilkan dari batu bara. Oleh karena itu penggantian batu bara tidak mungkin dilakukan dalam waktu dekat meskipun batu bara mempunyai kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca/*greenhouse gas* (GHG) yang paling banyak. Selama masa transisi dari fosil ke energi terbarukan, penggunaan kualitas batu bara dengan cara yang lebih efektif merupakan pilihan yang paling tepat [3]. Suatu desain boiler dirancang oleh manufaktur industri mengikuti kualitas spesifikasi batu bara geografis di daerah tersebut [4]. Pada unit pembangkit menggunakan desain boiler untuk kualitas batu bara rendah atau *low rank coal* (LRC) dan batu bara menengah atau *medium rank coal* (MRC), oleh karena itu untuk mendapatkan nilai pembakaran atau *high heating value* (HHV) yang optimal maka dilakukan pencampuran antara dua kualitas batu bara (*coal blending*) [5]. Suatu nilai pembakaran (HHV) dikatakan optimal dan efektif apabila sesuai atau mendekati nilai dari spesifikasi desain boiler [6]. Dampak ketika pembakaran yang optimal dilakukan, maka kesiapan atau *Equivalent Availability Factor* (EAF) dan gangguan kinerja atau *Equivalent Force Outage Rate* (EFOR) operasi pembangkit dapat diminimalisir [7]. Dari sisi ekonomis, pembakaran yang optimal dapat menghemat pengeluaran untuk pemakaian bahan bakar dan meningkatkan keuntungan pembangkitan ditinjau dari *fuel saving cost* [8].

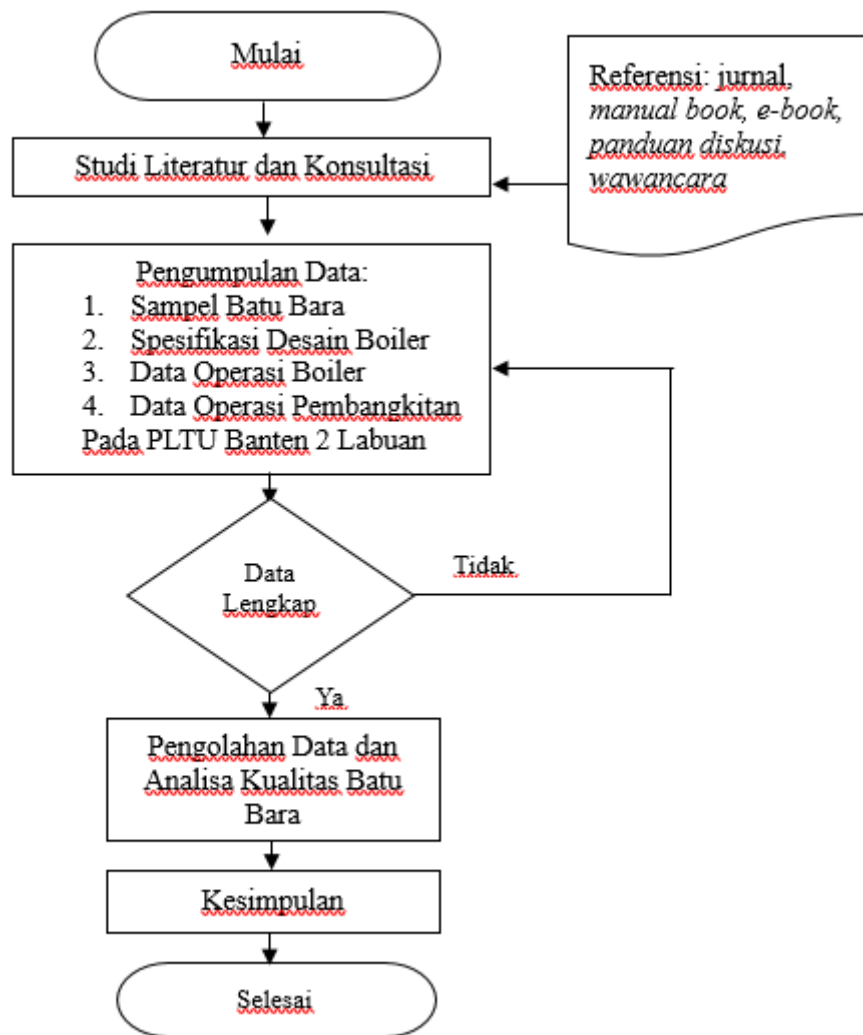
### I.II Tujuan

1. Menilai kualitas sampel HHV batubara hasil *coal blending* terhadap efisiensi boiler
2. Menganalisa nilai dari sampel HHV batubara hasil *coal blending* terhadap nilai *net plant heat rate* (NPHR) pembangkitan.
3. Menganalisa pengaruh besarnya HHV sampel batubara hasil *coal blending* terhadap faktor operasi yakni kesiapan dan gangguan pada pembangkitan.
4. Mengalisa pengaruh besarnya HHV sampel batu bara terhadap efisiensi thermal pembangkitan dan dampak kerugian akibat penurunan efisiensi thermal dari sisi ekonomis.
5. Menganalisa keuntungan yang didapatkan, ditinjau dari sisi ekonomis pengeluaran untuk pemakaian bahan bakar (*fuel saving cost*)

## II. METODE PENELITIAN

Analisis perhitungan teknis maupun ekonomis terkait dengan kelayakan performa pembangkit dilakukan pada penelitian ini. Untuk melakukan analisis teknis dilakukan analisis terhadap sampling batu bara yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit tenaga listrik.

Analisis data untuk perhitungan spesifikasi batu bara pada 1 unit pembangkit dilakukan pada saat kondisi pembangkit 100% beban. Identifikasi mengenai apa saja pengaruh signifikan yang dimiliki oleh batu bara dengan kualitas berbeda terhadap performa suatu pembangkitan dilakukan dengan menggunakan data sampling batu bara. Parameter-parameter yang dipakai untuk menentukan performa pembangkit meliputi: ketersediaan (*availability*), keandalan (*reliability*), efisiensi, *revenue*, dan profit *fuel saving cost*.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

## II.1 Perhitungan High Heating Value Boiler

*High heating value* (HHV) adalah salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan perbandingan antara kualitas desain boiler dengan kualitas batu bara. *Low heating value* (LHV) adalah basis data yang digunakan pada desain boiler yang tercantum dalam dokumen manufaktur perusahaan. Perbedaan antara HHV dan LHV terletak pada kandungan *moisture* hidrogen terikat yang berubah menjadi senyawa H<sub>2</sub>O/kalor laten pada proses pembakaran batu bara. Nilai konversi LHV menjadi HHV dihitung dengan menggunakan persamaan Dulong:

$$\text{HHV [kcal/kg]} = [33.950 C_c + 144.200 \left(\frac{C_{H_2} - C_{O_2}}{8}\right) + 9400C_s] \times 0,23 \quad [\text{Persamaan. 1}]$$

Dimana

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| C <sub>c</sub>             | = Kadar Carbon [%],   |
| C <sub>H<sub>2</sub></sub> | = Kadar Hidrogen [%], |
| C <sub>O<sub>2</sub></sub> | = Kadar Oksigen [%],  |
| C <sub>s</sub>             | = Kadar Sulfur [%].   |

## II.2 Perhitungan Efisiensi Boiler

Pada kasus ini, perhitungan efisiensi boiler dilakukan dengan menggunakan metode tidak langsung yaitu dengan perhitungan terhadap kerugian-kerugian panas (*Heat Loss*) yang dikeluarkan oleh *boiler*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan *data boiler efficiency* unit pembangkit yang diperoleh dari *control room*. Metode perhitungan tidak langsung digunakan karena metode ini mempunyai perhitungan yang lebih

mewakilkkan keadaan dari boiler yang sebenarnya. Perhitungan efisiensi boiler menggunakan acuan ASME Standard: PTC 4-1 Performance Test Code for Steam Generating Unit:

Beberapa parameter perlu didapatkan sebelum perhitungan keseluruhan kehilangan panas dapat dihitung. Tahap pertama adalah dengan menghitung kebutuhan udara teoretis (KUT) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$KUT \text{ [kg/kg bahan bakar]} = \frac{[(11,6 \times C_c) + \{34,8 \times (\frac{C_{H_2} - C_{O_2}}{8})\}] + (4,35 \times C_S)}{100} \quad \text{[Persamaan. 2]}$$

Tahap kedua adalah menghitung kelebihan udara yang dipasok atau *Excess of Air (EA)* yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$EA \text{ [%]} = \frac{\text{excess } O_2}{21 - \text{excess } O_2} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 3]}$$

Tahap ketiga adalah menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok atau *Actual Mass of Air Supplied (AAS)*. Nilai EA dan KUT didapatkan menggunakan persamaan (2) dan (3) berturut-turut, sehingga didapatkan:

$$AAS \text{ [kg/kg bahan bakar]} = (\frac{1 + EA}{100}) \times KUT \quad \text{[Persamaan. 4]}$$

Tahap keempat adalah menghitung massa udara gas buang kering atau *Mass Dry ( $m_{dry}$ )* yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$M_{dry} = M_{C_{CO_2}} + M_{C_{N_2} \text{ bahan bakar}} + M_{C_{N_2} \text{ pembakaran udara}} + M_{C_{O_2} \text{ gas buang}} \quad \text{[Persamaan. 5]}$$

Total kehilangan panas dapat dihitung dengan menjumlahkan kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering  $L_1$ , persentase  $H_2$  dalam bahan bakar  $L_2$ , penguapan kadar air dalam bahan bakar  $L_3$ , kadar air pada udara  $L_4$ , radiasi  $L_5$ , fly ash  $L_6$ , dan bottom ash  $L_7$ .

Persentase kehilangan panas  $L_1$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_1 \text{ [%]} = \frac{m_{dry} \cdot C_p \cdot (T_f - T_a)}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 6]}$$

Dimana  $C_p$  = kalor jenis gas buang  
 $m_{dry}$  = massa gas buang kering  
 $T_f$  = flue temperature  
 $T_a$  = ambient temperature

Persentase kehilangan panas  $L_2$  didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_2 \text{ [%]} = \frac{9 \times C_{H_2} (584 + C_p(T_f - T_a))}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 7]}$$

dimana  $C_{H_2}$  adalah persentase  $H_2$  dalam 1 kg bahan bakar. Persentase kehilangan panas  $L_3$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_3 \text{ [%]} = \frac{M(584 + C_p(T_f - T_a))}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 8]}$$

dimana  $M$  adalah persentase kadar air dalam 1 kg bahan bakar. Selanjutnya, persentase kehilangan panas  $L_4$  didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_4 [\%] = \frac{AAS \times kelembapan \times Cp (Tf - Ta)}{HHV} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 9]}$$

Persentase kehilangan panas  $L_5$  didapatkan dari referensi *Losses from ASME Standard: PTC 4-1 Power Test Code for Steam Generating Units*. Besar nilai  $L_5$  adalah 0,25%. Persen kehilangan  $L_6$  dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$L_6 [\%] = \frac{\text{Total Ash} \times \text{HHV of fly ash}}{\text{HHV of fuel}} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 10]}$$

Terakhir adalah persentase kehilangan panas  $L_7$  didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_7 [\%] = \frac{\text{Total Ash} \times \text{HHV of bottom ash}}{\text{HHV of fuel}} \times 100 \quad \text{[Persamaan. 11]}$$

Efisiensi boiler  $\eta_{\text{boiler}}$  dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan.6 sampai 11 yang dirumuskan menjadi:

$$\eta_{\text{boiler}} [\%] = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7) \quad \text{[Persamaan. 12]}$$

### II.3 Perhitungan Net Plant Heat Rate

*Net Plant heat rate* (NPHR) digunakan untuk memberikan gambaran tentang seberapa besar efisiensi dari suatu pembangkit secara keseluruhan. Perhitungan NPHR menggunakan acuan *ASME PTC PM 1993* yang dapat dirumuskan melalui persamaan berikut:

$$\text{Net Plant Heat rate} = \frac{\text{Jumlah Bahan Bakar} \times \text{HHV}}{\text{Generator Output-Pemakaian Sendiri (PS)}} \quad \text{[Persamaan. 13]}$$

### II.4 Perhitungan Equivalent Availability Factor (EAF) dan Equivalent Force Outage Rate (EFOR)

Faktor ketersediaan dihitung menggunakan EAF dan faktor kehandalan pembangkit yang diakibatkan oleh penggunaan kualitas batu bara dihitung menggunakan EFOR. Faktor ketersediaan merupakan faktor kesiapan unit pembangkit untuk beroperasi (baik dalam kondisi *stand by* maupun operasi). Faktor kehandalan yaitu mengukur tingkat gangguan atau ketidaksiapan unit yang disebabkan oleh gangguan peralatan (*outage*) dan derating. Perhitungan EAF dan EFOR dapat dirumuskan dengan Persamaan.14 dan 15 berikut:

$$\text{EAF} [\%] = \frac{\text{AH} - (\text{EFDH} + \text{EMDH} + \text{EPDH} + \text{ESEDH})}{\text{PH}} \times 100\% \quad \text{[Persamaan. 14]}$$

Dimana, AH = Available Hours,  
EFDH = Equivalent Forced Derating Hours,  
EPDH = Equivalent Planned Derating Hours,  
EMDH = Equivalent Maintenance Derating Hours,  
ESEDH = Equivalent Seasonal Derated Hours,  
PH = Period Hours.

$$\text{EFOR} [\%] = \frac{\text{FOH} + \text{EFDH}}{\text{FOH} + \text{SH} + \text{Synchr. Hrs} + \text{EFDHRS}} \times 100\% \quad \text{[Persamaan. 15]}$$

Dimana, FOH = Forced Outage Hours,  
SH = Service Hours,  
EFDHRS = Equivalent Forced Derating Hours During Reserve Shutdown.

Nilai-nilai dari AH, EFDH, EPDH, EMDH, ESEDH, PH, FOH, SH, EFDHRS didapatkan dari data kinerja operasi PLTU Labuan 2 Banten.

### II.5 Perhitungan Potensi Penghematan Bahan Bakar / Kerugian Akibat Perubahan dalam Efisiensi

Perhitungan performa efisiensi termal dilakukan dengan menggunakan sampel batu bara yang telah dicampur dan didapatkan HHV-nya. Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan efisiensi ideal pembangkitan sehingga didapatkan selisih biaya bahan bakar yang seharusnya dapat dihemat dikarenakan penurunan efisiensi termal akibat menggunakan sampel bahan bakar tersebut. Potensi penghematan bahan bakar dapat dirumuskan dengan persamaan berikut

$$S = W \times \left( \frac{E_i - E_n}{E_i} \right) \times C_f \times t \quad \text{[Persamaan. 16]}$$

Dimana,  $S$  = Kerugian akibat perubahan efisiensi [Rp],  
 $W_f$  = Tingkat Penggunaan Bahan Bakar [kcal/h],  
 $E_i$  = Efisiensi Ideal [%],  
 $E_n$  = Efisiensi Aktual [%],  
 $C_f$  = Biaya bahan bakar per kilo kalori [Rp/kcal],  
 $t$  = Jam Operasi [h],

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### III.1 Hasil High Heating Value (HHV) Desain Boiler

Pada desain boiler Dongfang, nilai yang diketahui dari referensi adalah nilai Low Heating Value (LHV). Sedangkan untuk perhitungan desain boiler dan sampel batu bara diperlukan nilai HHV. Sehingga perlu dilakukan konversi nilai LHV menjadi HHV menggunakan rumus Dulong pada Persamaan.1. Hasil dari konversi LHV menjadi HHV disajikan dalam Tabel 1.

**Tabel 1** Hasil Perhitungan Konversi LHV menjadi HHV Desain Boiler

| Parameter                      | Nilai   |
|--------------------------------|---------|
| Carbon (C) [%]                 | 46      |
| Hidrogen (H <sub>2</sub> ) [%] | 3,77    |
| Oksigen [%]                    | 13,9    |
| Sulfur [%]                     | 0,33    |
| LHV [kcal/kg]                  | 4122,84 |
| HHV [kcal/kg]                  | 4440,45 |

Koefisien HHV yang didapatkan dalam perhitungan desain boiler digunakan untuk perbandingan dengan sampel batu bara yang dicampur. Perbandingan yang dilakukan melibatkan seluruh parameter yang telah tertera pada desain. Data parameter HHV dibutuhkan untuk mengetahui nilai maksimum pembakaran optimal yang dapat dilakukan oleh suatu desain boiler.

### III.2 Hasil Coal Blending

Pemenuhan nilai HHV desain boiler dilakukan dengan pencampuran antara kedua batu bara dengan grade yang berbeda (*Coal blending*). Setiap tipe batu bara yang dicampur harus memenuhi persyaratan

kualitas/spesifikasi batu bara untuk unit pembangkit listrik tenaga uap. Coal blending antara batu bara kualitas rendah (*Low Rank Coal*) dengan kualitas medium (*Medium Rank Coal*) dilakukan di dalam unit pembangkit. Tabel 2 memuat klasifikasi batu bara dan coal blending yang digunakan pada penelitian ini.

**Tabel 2** Klasifikasi Medium Rank Coal dan Low Rank Coal dari Tambang Berbeda

| <i>Medium Rank Coal (MRC)</i>    | <i>Low Rank Coal (LRC)</i>                 |
|----------------------------------|--|
| PT. Bukit Asam (PT. BA)          | PT. Energy Eksploitasi Indonesia (PT. EEI) |
|                                  | PT. PLN BB                                 |
|                                  | PT. Hanson Energy (PT. HE)                 |
| PT. Titan Infra Energy (PT. TIE) | PT. Energy Eksploitasi Indonesia (PT. EEI) |
|                                  | PT. PLN BB                                 |
|                                  | PT. Hanson Energy (PT. HE)                 |

Dari blending yang dilakukan pada Tabel 2 didapatkan enam sampel batu bara. Pada penelitian ini diambil tiga sampel batu bara yang telah ditentukan berdasarkan HHV. Perbandingan kualitas batu bara hasil *blending* terhadap desain boiler disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3** Perbandingan Kualitas Hasil Coal Blending Terhadap Desain Boiler

| <i>Coal Blending</i> | <b>Sampel Tipe</b> | <b>Persentase Blending</b> | <b>Kualitas Hasil Blending</b> |         |        |        |        |         |               |
|----------------------|--------------------|----------------------------|--------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------------|
|                      |                    |                            | TM [%]                         | Ash [%] | VM [%] | FC [%] | Cs [%] | HGI [%] | HHV [kcal/kg] |
| PT. BA-PT. EEI       | A                  | 50 [%]                     | 32,53                          | 4,1     | 33,44  | 29,92  | 0,25   | 58      | 4437          |
| PT. BA – HE          | B                  |                            | 34,66                          | 3,535   | 32,73  | 29,075 | 0,215  | 58      | 4387,5        |
| PT. TIE-PT. HE       | C                  |                            | 36,20                          | 3,6     | 32,89  | 27,22  | 0,19   | 58,5    | 4237,5        |
| Desain               |                    |                            | 35                             | 6       | 60     | 60     | 0,35   | >50     | 4440,45       |

Dimana, Total Moisture (TM) = Kadar Total Moisture  
 Abu (Ash) = Kadar Abu  
 Volatile Matter (VM) = Kadar Zat Terbang  
 Cs = Kadar Sulfur  
 Hardgrove Grindability Index (HGI) = Nilai tingkat kemudahan batu bara untuk digerus

*Blending* di Unit Pembangkit dilakukan pada *furnace/boiler* itu sendiri yang dibedakan pada bunker batu bara. Untuk batu bara LRC terdapat pada bunker 1 dan 2, sedangkan untuk batu bara MRC terdapat pada bunker 3 dan 4, oleh karena itu persentase *blending* diasumsikan adalah 50%. Ketiga sampel yang terpilih untuk perbandingan dengan desain boiler dipilih berdasarkan kriteria:

1. HHV *coal blending* batu bara terdekat dari HHV desain,
2. HHV *coal blending* menengah dari HHV desain,
3. HHV *coal blending* terjauh dari HHV desain.

### III.3 Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler pada Unit Pembangkit

Perhitungan efisiensi boiler dihitung menggunakan metode tidak langsung yang dilakukan pada sampel yang telah ditentukan sesuai pada tabel 3. Perhitungan ini menggunakan data desain spesifikasi dokumen manufaktur dan data analisis laboratorium perusahaan surveyor Indonesia terkait sampel batu bara yang digunakan.

**Tabel 4** Data Sampel Coal Blending yang dibutuhkan untuk Efisiensi Boiler

|                                 | Satuan          | A      | B      | C      |
|---------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|
| <b>Fuel Analysis (in %) [8]</b> |                 |        |        |        |
| Ash Content in Fuel             | [%]             | 4,1    | 3,535  | 3,68   |
| Moisture in Coal                | [%]             | 32,53  | 34,66  | 36,2   |
| Carbon Content                  | [%]             | 50,45  | 47,85  | 46,26  |
| Hydrogen Content                | [%]             | 4,41   | 4,145  | 3,96   |
| Nitrogen Content                | [%]             | 0,83   | 0,77   | 0,63   |
| Oxygen Content                  | [%]             | 7,42   | 8,825  | 9,07   |
| HHV of Coal                     | [kcal/kg]       | 4437   | 4387,5 | 4237,5 |
| Sulfur Content                  | [%]             | 0,25   | 0,215  | 0,19   |
| Excess Oxygen                   | [%]             | 2,43   | 2,43   | 2,43   |
| <b>Data yang dihasilkan</b>     |                 |        |        |        |
| %CO <sub>2</sub> in Flue gas    | [%]             | 17,6   | 18,0   | 18,2   |
| Average flue gas Temperature    | [° C]           | 161,36 | 159,27 | 155,98 |
| Ambient Temperature             | [° C]           | 30     | 30     | 30     |
| Humidity in ambient air         | [kg/kg dry air] | 0,01   | 0,015  | 0,02   |
| % of Bottom Ash                 | [%]             | 1,61   | 5,43   | 7,25   |
| % of Fly Ash                    | [%]             | 1,72   | 1,695  | 1,47   |
| Ratio of Bottom Ash and Fly Ash |                 | 90:10  | 90:10  | 90:10  |

Perhitungan ini menggunakan acuan ASME Standard: PTC 4-1 Performance Test Code for Steam Generating Unit, sesuai pada Persamaan. 2 sampai Persamaan 12. Hasil perhitungan efisiensi boiler pada ketiga sampel *coal blending* adalah sebagai berikut:

**Tabel 5** Data Perhitungan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

|   | A          | B           | C           | Comissioning |
|---|------------|-------------|-------------|--------------|
|   | [%]        | [%]         | [%]         | [%]          |
| <b>Kehilangan panas akibat gas buang kering (<math>L_1</math>)</b>                  | <b>1,2</b> | <b>1,73</b> | <b>1,76</b> |              |
| <b>kehilangan panas akibat H<sub>2</sub> dalam bahan bakar (<math>L_2</math>)</b>   | 3,84       | 4,2         | 5,03        |              |
| <b>kehilangan panas akibat <i>moisture</i> dalam bahan bakar (<math>L_3</math>)</b> | 4,36       | 4,14        | 4,09        |              |
| <b>kehilangan panas akibat <i>moisture</i> dalam udara (<math>L_4</math>)</b>       | 0,01       | 0,016       | 0,017       |              |
| <b>kehilangan panas akibat radiasi (<math>L_5</math>)</b>                           | 0,19       | 0,20        | 0,206       |              |
| <b>kehilangan panas akibat fly ash (<math>L_6</math>)</b>                           | 0,024      | 0,03        | 0,03        |              |
| <b>kehilangan panas akibat bottom ash (<math>L_7</math>)</b>                        | 0,25       | 0,31        | 0,37        |              |
| <b>Total Kehilangan Panas</b>   | 10,14      | 10,62       | 11,50       |              |
| <b>Efisiensi Boiler</b>   | 89,85      | 89,37       | 88,49       | 93,74        |

### III.5 Hasil Perhitungan Net Plant Heat Rate (NPHR)

Pada perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara HHV sampel coal blending terhadap nilai dari *heat rate* unit pembangkitan. Nilai NPHR dihitung sesuai dengan Persamaan.13 dengan hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 6. Nilai dari jumlah bahan bakar, generator output, dan pemakaian sendiri didapatkan data kinerja operasi PLTU Labuan 2 Banten.



**Tabel 6** Data Perhitungan Kehilangan Panas (*Heat Loss*)

|                                     | A      | B        | C        |
|-------------------------------------|--------|----------|----------|
| <b>High Heating Value [kcal/kg]</b> | 4437   | 4387,5   | 4237,5   |
| <b>Jumlah Bahan Bakar [MT]</b>      | 3.732  | 3.800    | 4.025    |
| <b>Generator Output [kWh]</b>       | 7.086  | 7.009    | 6.933    |
| <b>Pemakaian Sendiri [kWh]</b>      | 321,12 | 354      | 400,53   |
| <b>NPHR [kcal/kWh]</b>              | 2447,3 | 2504,958 | 2611,168 |

### III.5 Hasil Perhitungan EAF dan EFOR

Pada analisis ini dilakukan perhitungan hubungan antara kesiapan dan gangguan yang terjadi pada unit pembangkit terhadap kualitas HHV *coal blending* yang ditentukan sesuai dengan tabel 3. Nilai faktor kesiapan (EAF) akan berbanding terbalik dengan gangguan (EFOR). Hasil perhitungan diperoleh menggunakan Persamaan.14 dan 15 adalah sebagai berikut:

**Tabel 7** Hasil Perhitungan EAF dan EFOR

|  | A     | B      | C      |
|--|-------|--------|--------|
| <b>Available Hours [h]</b>                       | 672   | 682.05 | 529,28 |
| <b>Equivalent Forced Derating Hours [h]</b>      | 0,03  | 5,99   | 2,84   |
| <b>Equivalent Maintenance Derating Hours [h]</b> | 30,45 | 3,73   | 0      |
| <b>Period Hours [h]</b>                          | 672   | 744    | 744    |
| <b>Forced Outage Hours, [h]</b>                  | 0     | 0      | 214,72 |
| <b>Service Hours, [h]</b>                        | 672   | 682,05 | 529,28 |
| <b>EAF [%]</b>                                   | 95,36 | 85,81  | 70,33  |
| <b>EFOR [%]</b>                                  | 0,11  | 5,85   | 29,67  |

### III.5 Keuntungan Pembangkit Ditinjau dari Fuel Saving Cost

Pada perhitungan keuntungan pembangkitan, untuk mendapatkan keuntungan ditinjau dari penggunaan bahan bakar yang digunakan sesuai dengan sampel *coal blending* ditentukan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan keuntungan kotor yang didapat dengan harga acuan *Power Purchase Agreement* (PPA) Perusahaan Listrik Negara oleh satu unit pembangkitan:

**Tabel 8** Hasil Perhitungan revenue pembangkit dalam satu hari

|   |                      |
|---|----------------------|
| <b>Kapasitas Pembangkit (satu unit)</b>     | 300 MW               |
| <b>Daya Mampu Netto (DMN)</b>               | 280 MW               |
| <b>Harga per kWh listrik</b>                | Rp. 778,69           |
| <b>Keuntungan dalam satu hari (revenue)</b> | Rp. 5.232.796.800,00 |

Dari perhitungan pada Tabel 7 dilakukan perhitungan potensi penghematan bahan bakar menggunakan sampel *coal blending* HHV batu bara. Hasil perhitungan diperoleh menggunakan Persamaan.16 dan dirangkum dalam Tabel 8 dengan harga berdasarkan Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara (Dirjen Minerba) tahun 2017:

**Tabel 9** Hasil Perhitungan Kerugian akibat Perubahan Efisiensi

|   |               |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|
| <b>High Heating Value [kcal/kg]</b>                 | 4437          | 4387,5        | 4237,5        |
| <b>Tingkat Penggunaan Bahan Bakar, [kcal/h]</b>     | 240.800.000   |               |               |
| <b>Efisiensi Ideal [%] [9]</b>                      | 39            |               |               |
| <b>Efisiensi Aktual [%]</b>                         | 36,72         | 35,44         | 34,88         |
| <b>Biaya bahan bakar per kilo kalori [Rp/kcal.]</b> | 0,148121704   | 0,147695726   | 0,148714952   |
| <b>Jam Operasi [h]</b>                              | 24            |               |               |
| <b>Kerugian akibat Perubahan Efisiensi [Rp]</b>     | 49.978.531,67 | 77.778.011,25 | 90.705.126,73 |

Dari perhitungan tersebut didapatkan total keuntungan bersih (profit) ditinjau dari *fuel saving cost* yang didapatkan oleh pembangkitan:

**Tabel 10.** Hasil Perhitungan keuntungan ditinjau dari biaya bahan bakar

|   |                      |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|----------------------|
| <b>Total konsumsi batu bara perhari [kg]</b>    | 4.137.600            |                      |                      |
| <b>Biaya Batu Bara Ideal Perhari [Rp]</b>       | 2.719.296.921,6      |                      |                      |
| <b>High Heating Value [kcal/kg]</b>             | 4437                 | 4387,5               | 4237,5               |
| <b>Kerugian akibat Perubahan Efisiensi [Rp]</b> | 49.978.531,67        | 77.778.011,25        | 90.705.126,73        |
| <b>Total Biaya [Rp]</b>                         | 2.769.275.453        | 2.797.074.933        | 2.810.002.048        |
| <b>Keuntungan dari fuel saving cost [Rp]</b>    | <b>2.463.521.347</b> | <b>2.435.721.867</b> | <b>2.422.794.752</b> |

#### IV. KESIMPULAN

1. Didapatkan HHV batu bara desain boiler sebesar 4440,45 kcal/kg. Dari ketiga sampel batu bara hasil blending A, B, dan C didapatkan HHV sebesar 4237,5 kcal/kg, 4387,5 kcal/kg dan 4437 kcal/kg. Efisiensi boiler mempunyai nilai yang signifikan menaik seiring dengan besarnya kualitas HHV batu bara yang mendekati desain yang digunakan. Hasil perhitungan efisiensi boiler untuk sampel A, B, dan C berturut-turut sebesar 84,46%, 84,66%, dan 84,68%.
2. Nilai *net plant heat rate* memiliki nilai menurun seiring dengan besarnya kualitas HHV batu bara yang mendekati desain. Artinya semakin *heat rate* menurun maka semakin baik dalam prosesnya. Dari ketiga sampel HHV batu bara yang dianalisis yakni A, B, dan C didapatkan nilai *net plant heat rate* berturut-turut sebesar 2447,3 kcal/kWh, 2504,95 kcal/kWh, dan 2611,16 kcal/kWh.
3. Nilai EAF dan EFOR memiliki kondisi yang signifikan membaik seiring dengan besarnya kualitas HHV batu bara yang mendekati desain. Nilai EAF dan EFOR berbanding terbalik, semakin tinggi EAF maka semakin baik kesiapan pembangkitan dan semakin rendah nilai EFOR maka semakin kecil gangguan pada pembangkitan. Dari ketiga sampel batu bara A, B, dan C didapatkan nilai EAF berturut-turut sebesar 95,46%, 90,36%, dan 70,75%, dan didapatkan nilai EFOR berturut-turut sebesar 1,80%, 16,7%, 29,24%.
4. Semakin besar nilai HHV mendekati nilai dari desain boiler maka efisiensi termal signifikan menaik dan nilai kerugian biaya akibat perubahan efisiensi termal pembangkit memiliki kondisi yang signifikan membaik. Dari ketiga sampel HHV batu bara A, B, dan C didapatkan nilai efisiensi thermal berturut-turut sebesar 36,85 %, 36,10 % dan 34,90%. Nilai kerugian akibat penurunan efisiensi berturut-turut sebesar Rp 48.384.224, Rp 63.209.612,39, dan Rp 90.304.206,95.
5. Nilai keuntungan ditinjau dari biaya bahan bakar memiliki nilai yang signifikan menaik seiring dengan besarnya kualitas HHV sampel batu bara yang digunakan. Dari ketiga sampel batu bara A, B, dan C didapatkan nilai keuntungan berturut-turut sebesar Rp 2.463.521.347, Rp 2.450.290.266, dan Rp. 2.422.794.752

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sasongko, Dwiwahju, "Tantangan Pengembangan Teknologi Pemrosesan Batubara Ramah Lingkungan di Indonesia (Clean Coal Technology), Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung, Indonesia, 10 Maret 2018
- [2] Noviardi, Rhazista, "Limbah Batubara Sebagai Pembenh Tanah dan Sumber Nutrisi :Studi Kasus Tanaman Bunga Matahari (*Helianthus Annus*)," *Ris.Geo.Tam* Vol 25, No.1, pp 81-72, Juni 2013
- [3] Majoumerd, M. M., Raas, H., Jana, K., "Coal Quality Effect on the Performance of an IGCC Power Plant with CO<sub>2</sub> Capture in India," *13<sup>th</sup> International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies*, Lausanne, Switzerland, 18 November 2016.
- [4] Joskow, Paul L. "Vertical integration and long-term contracts: The case of coal-burning electric generating plants." *Journal of Law, Economics, & Organization* 1.1 (1985): 33-80.
- [5] Gil, M. V., Casal, D., Pevida, C., Pis, J. J., & Rubiera, F. (2010). Thermal behaviour and kinetics of coal/biomass blends during co-combustion. *Bioresource Technology*, 101(14), 5601-5608.
- [6] F. Andiek T., Hardianto, T., Suwono, A. (2011) Pengaruh Penggunaan Batu Bara Nilai Kalor Rendah (Low Rank Coal) Terhadap Efisiensi Boiler PLTU Suralaya Unit 3, Master Theses, Institut Teknologi Bandung, Indonesia
- [7] Sullivan, G., Pugh, R., Melendez, A. P., & Hunt, W. D. (2010). *Operations & Maintenance Best Practices-A Guide to Achieving Operational Efficiency (Release 3)* (No. PNNL-19634). Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).
- [8] Urgusal, V. I; Taweel, A.M, "Impact of Coal Quality on the Cost of Electrical Power Generation: A Technoeconomic Model," *International Journal of Energy Research*, Vol. 14, pp 683 - 699, 16 February 1990
- [9] Takaishi, T., Numata, A., Nakano, R, Sakaguchi, K. "Approach to High Efficiency Diesel and Gas Engines" *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review*. 45 (1), 2 April 2011