

## KARAKTERISTISASI BATU BARA BERDASARKAN ANALISIS PROKSIMAT PADA PASOKAN BATU BARA DI PLTU "PELITA" PERIODE 2019

Qori Fajar Hermawan<sup>1\*</sup>, Nanda Khoirunisa<sup>1</sup>, Muhammad Riza<sup>1</sup>, Zetsaona Sihotang<sup>1</sup>, Wasono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman

<sup>2</sup>Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman

\*Penulis Korespondensi : qorifajarhermawan@fmipa.unmul.ac.id

**Abstrak.** Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) "Pelita" menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama. Batu bara yang dipasok ke PLTU "Pelita" berasal dari Provinsi Sumatera Selatan, Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Pasokan batu bara yang diterima dilakukan analisis proksimat dan penentuan nilai kalor yang dilakukan oleh PT Surveyor Indonesia. Penelitian ini dilaksanakan untuk menentukan karakteristik batu bara pada PLTU "Pelita" periode 2019 berdasarkan hasil analisis proksimat dan nilai kalor. Korelasi antara nilai hasil analisis proksimat dan nilai kalor pada batu bara dilakukan berdasarkan analisis statistik menggunakan metode regresi linear. PLTU "Pelita" pada periode 2019 menerima batu bara sebanyak 17.485,537 ton dari Provinsi Kalimantan Selatan melalui dua kali pengiriman, 252.834,199 ton dari Provinsi Kalimantan Timur melalui 23 kali pengiriman dan 259.138,715 ton dari Provinsi Sumatera Selatan melalui 34 kali pengiriman. Pasokan batu bara periode 2019 ini memiliki nilai rata-rata untuk parameter kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, kandungan karbon dan nilai kalor batu bara secara berurutan sebesar 29,70%; 34,41%; 3,05%; 32,73%; dan 4.647,71 kkal/kg. Batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan memiliki nilai rata-rata untuk parameter kelembaban sebesar 27,45%; 29,98%; dan 29,58%; kandungan zat terbang sebesar 36,74%; 35,26%; dan 33,44%; kandungan abu sebesar 4,37%; 2,70%; dan 3,30%; kandungan karbon sebesar 31,44%; 31,94%; dan 33,60% serta nilai kalor batu bara sebesar 4.845,54 kkal/kg, 4.504,92 kkal/kg dan 4.773,68 kkal/kg. Korelasi kuat ditunjukkan oleh pengaruh nilai kelembaban (0,663) dan kandungan karbon (0,756) terhadap nilai kalor pada batu bara. Berdasarkan nilai *fuel ratio*, jenis batu bara yang diterima oleh PLTU "Pelita" periode 2019 adalah bituminus dengan zat terbang menengah-tinggi dan seluruh golongan subbituminus.

**Kata Kunci:** analisis proksimat; *fuel ratio*; nilai kalor; statistika;

**Abstract.** The "Pelita" power plant uses coal as the main fuel. The supplied coal was from the provinces of South Sumatra, South Kalimantan and East Kalimantan. The supplied coal was analyzed using proximate analysis and calorific value determination by PT Surveyor Indonesia. This study had been done to determine the supplied coal characteristics using proximate and caloric value analysis. The correlation between the proximate analysis and the calorific value is analyzed using statistical analysis (the linear regression method). The "Pelita" power plant in the 2019 received 17,485.537 tons of coal from South Kalimantan through two shipments, 252,834.199 tons from East Kalimantan through 23 shipments and 259,138.715 tons from South Sumatra through 34 shipments. Supplied coal during 2019 has an average value for the parameters of total moisture, volatile matter content, ash content, fixed carbon and calorific value 29.70%; 34.41%; 3.05%; 32.73%; and 4,647.71 kcal/kg respectively. Coal from the provinces of South Kalimantan, East Kalimantan and South Sumatra has an average value for the total moisture parameter of 27.45%; 29.98%; and 29.58%; volatile matter content of 36.74%; 35.26%; and 33.44%; ash content of 4.37%; 2.70%; and 3.30%; carbon content of 31.44%; 31.94%; and 33.60% and the calorific value of coal is 4,845.54 kcal/kg, 4,504.92 kcal/kg and 4,773.68 kcal/kg. Correlation between the total moisture (correlation value: 0,663) and fixed carbon (correlation value: 0,756) to caloric value of coal is a strong correlation. Based on the fuel ratio value, the types of coal received by the "Pelita" power plant during 2019 were bituminous with medium-high volatile matter and all sub-bituminous groups.

**Keywords:** analysis of proximate; fuel ratio; caloric value; statistic;

## PENDAHULUAN

Listrik di Indonesia dibangkitkan melalui berbagai jenis sistem pembangkitan. Salah satu sistem pembangkitan listrik adalah menggunakan tenaga uap yang menggerakkan turbin generator. Pembangkitan listrik tenaga uap ini dapat dibedakan berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan seperti PLTU Batu Bara, PLTU Panas Bumi, PLTU Nuklir dan PLTU Minyak (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2004).

Dalam proses pembangkitan listrik pada sebuah PLTU, listrik dibangkitkan dengan mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Energi gerak dihasilkan dengan memanfaatkan perubahan wujud air dari fase cair ke fase uap dan ke fase cair kembali. Hal ini dapat dijelaskan bahwa, air yang ada di tungku dipanaskan hingga berubah menjadi fase gas. Fase gas dengan suhu dan tekanan tertentu kemudian akan dialirkan ke ruang generator untuk memutar turbin. Turbin yang memutar akan menghasilkan energi listrik pada sistem dinamo. Selanjutnya, uap air tersebut akan diarahkan ke bagian kondensator untuk mengubah fase gas air menjadi fase cair. Perubahan ini dilakukan dengan pendinginan uap dengan bantuan air laut. Air pada fase cair hasil kondensator ini kemudian akan diarahkan kembali ke tungku pemanasan (Prawoto & Rahman, 2021).

Pembangkitan listrik di PLTU khususnya PLTU Batu Bara dapat menerapkan beberapa teknologi *boiler* untuk meningkatkan efisiensi perubahan energi kalor pada batu bara menjadi energi listrik yang dihasilkan. Beberapa teknologi *boiler* yang digunakan pada PLTU Batu Bara adalah *fluidized bed combustion* (Yuliyani, et al., 2019), *pulverized coal* (Gunawan & Gunawan, 2020), dan *chain grate* (Idris, et al., 2022).

PLTU "Pelita" adalah PLTU yang membangkitkan listrik dengan bahan bakar utama batu bara. Dalam proses pembangkitannya, batu bara yang digunakan dimasukkan ke dalam teknologi *pulverized coal system*. Batu bara tersebut memanaskan air dan membangkitkan energi listrik sebesar 55 MW. PLTU "Pelita" memiliki dua turbin generator sehingga pada waktu yang bersamaan energi listrik yang dihasilkan

dapat mencapai 110 MW. Dalam proses pembangkitan listrik, PLTU "Pelita" mendapatkan pasokan dari pemasok yang berasal dari Provinsi Sumatera Selatan, Provinsi Kalimantan Selatan dan Provinsi Kalimantan Timur. Sistem pasokan batu bara di PLTU "Pelita" menerapkan sistem *first in first out* (FIFO). Pada 2019, PLTU "Pelita" menerima 59 pengiriman pasokan batu bara dengan total batu bara yang diterima sebanyak 529.458,451 ton. Sebelum digunakan, batu bara yang diterima wajib dilakukan analisis proksimat untuk menguji kualitas batu bara. Hal ini berkaitan dengan rancangan pembangunan PLTU "Pelita" yang menggunakan batu bara jenis subbituminus dengan kandungan kalor yang rendah. Pengujian tersebut dilakukan terhadap sampel yang diambil secara acak pada saat pembongkaran batu bara dari kapal menuju *coal yard* (PLTU "Pelita", 2020).

Analisis proksimat dilaksanakan oleh laboratorium yang telah terakreditasi oleh Komite Akreditasi Nasional dengan menerapkan metodologi yang telah memenuhi Standar Nasional Indonesia. Analisis proksimat ini menguji kualitas batu bara berdasarkan beberapa parameter seperti kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, dan kandungan karbon. Selain itu, kualitas batu bara juga ditunjukkan melalui nilai kalor yang terkandung pada batu bara tersebut. PLTU "Pelita" menggunakan jasa laboratorium PT Surveyor Indonesia untuk menganalisis kualitas batu bara yang diterima (PT Surveyor Indonesia, 2020).

Perbandingan kandungan karbon dan kandungan zat terbang dapat menentukan nilai *fuel ratio* (Komariyah, 2012). Nilai *fuel ratio* ini dapat digunakan untuk menentukan jenis batu bara (Frazer, 1987) yang dipasok ke PLTU "Pelita".

Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik batu bara yang dipasok ke PLTU "Pelita" berdasarkan analisis proksimat, nilai kalor batu bara dan asal provinsi pasokan. Selain itu, penelitian ini juga mengukur korelasi antara hasil analisis proksimat dan nilai kalor batu bara. Batasan masalah pada penelitian ini adalah hasil analisis proksimat yang diambil adalah nilai pada kondisi *as received*

dan penentuan korelasi hanya berdasarkan nilai regresi linear, koefisien korelasi dan koefisien determinasi.

## METODOLOGI

Karakterisasi pasokan batu bara di PLTU “Pelita” selama 2019 yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan hasil analisis proksimat, nilai kalor, *fuel ratio*, dan asal pasokan. Analisis proksimat dan nilai kalor didapatkan dari laporan hasil uji kualitas batu bara yang dilakukan oleh PT Surveyor Indonesia (PT Surveyor Indonesia, 2020). Nilai kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu dan kandungan karbon diuji berdasarkan metode ASTM D3302, ASTM D3175-17, ASTM D3174-12, dan ASTM D3172-13. Nilai kalor batuan diuji menggunakan metode ASTM D5865-13. Hasil analisis proksimat yang digunakan adalah nilai pada kondisi saat diterima atau *as received*. Nilai kalor batu bara yang digunakan adalah nilai GCV (*Gross Caloric Value*) pada kondisi saat diterima atau *as received*.

Perhitungan nilai *fuel ratio* dilakukan dengan memanfaatkan nilai kandungan karbon dan kandungan zat terbang pada kondisi saat diterima atau *as received* dan menggunakan Persamaan 1 berikut (Komariyah, 2012):

$$Fuel\ Ratio = \frac{Kandungan\ Karbon\ (\%)}{Kandungan\ Zat\ Terbang\ (\%)} \quad (1)$$

Jenis batu bara dapat ditentukan berdasarkan nilai *fuel ratio* tersebut. Jenis batuan dan nilai *fuel ratio* ditunjukkan oleh informasi berikut (Frazer, 1987) :

- Batu bara antrasit memiliki nilai *fuel ratio* sebesar 12-100
- Batu bara semiantrasit memiliki nilai *fuel ratio* sebesar 9-12
- Batu bara bituminus dengan zat terbang rendah memiliki nilai *fuel ratio* sebesar 5-8
- Batu bara bituminus dengan zat terbang menengah-tinggi dan semua golongan subbituminus memiliki nilai *fuel ratio* sebesar 0-5

Nilai rata-rata untuk masing-masing parameter dihitung berdasarkan persamaan *weighted mean* sesuai dengan Persamaan 2 berikut (Hu, 2010):

$$WM = \frac{\sum_{i=1}^n w_i Z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (2)$$

dengan *WM* merupakan nilai *weighted mean*, *w* menunjukkan nilai *weight* dan *Z* merupakan nilai parameter dari hasil analisis proksimat dan nilai kalor batu bara. Nilai *weight* dalam persamaan ini adalah nilai jumlah pasokan batu bara pada setiap pengiriman.

Perhitungan produksi abu hasil pembakaran batu bara berdasarkan asal provinsi dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3 berikut.

$$Produksi\ Abu = Abu\ (\%) \times Jumlah\ Pasokan \quad (3)$$

Analisis korelasi yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan regresi linear. Banyaknya data yang menunjukkan korelasi dari regresi linear dihitung berdasarkan nilai *R* atau nilai koefisien korelasi dan *R*<sup>2</sup> atau nilai koefisien determinasi. Penentuan koefisien korelasi dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan Persamaan 4 berikut (Yuliara, 2016).

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[(n \sum_{i=1}^n X_i^2) - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][(n \sum_{i=1}^n Y_i^2) - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \quad (4)$$

dengan *n* menunjukkan banyaknya data, *X* adalah variabel independen dan *Y* adalah variabel dependen. Penafsiran korelasi yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi dapat menggunakan informasi berikut (Tarsito, 2014):

- 0,000-0,199 berarti korelasi sangat rendah
- 0,200-0,399 berarti korelasi rendah
- 0,400-0,599 berarti korelasi sedang
- 0,600-0,799 berarti korelasi kuat
- 0,800-1,000 berarti korelasi sangat kuat

Penentuan koefisien determinasi (*R*<sup>2</sup>) dilakukan dengan mengkuadratkan nilai koefisien korelasi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

PLTU “Pelita” pada 2019 menerima pasokan batu bara sebanyak 529.458,451 ton dalam 59 kali pengiriman. Pasokan batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan sebanyak dua kali pengiriman dengan total batu bara yang dipasok adalah 17.485,537 ton. Provinsi Kalimantan Timur mengirimkan pasokan batu bara sebanyak 23 pengiriman dengan jumlah batu bara 252.834,199 ton. Batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan

berjumlah 259.138,715 ton dikirimkan melalui 34 kali pengiriman. Analisis mengenai parameter kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, kandungan karbon, nilai kalor pada batu bara dan korelasi antara hasil analisis proksimat dan nilai kalor serta nilai *fuel* dan jenis batu bara dibahas pada bagian berikutnya.

### Parameter Kelembaban

Hasil analisis proksimat yang dilakukan pada sampel yang diambil dari 59 penerimaan pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019, menunjukkan parameter kelembaban memiliki nilai *weighted mean* sebesar 29,70%. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan nilai kelembabannya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan asal provinsi dan nilai kelembaban batu bara

Parameter	Asal Provinsi (pengiriman)			Jumlah Pengiriman
	Kalimantan Selatan	Kalimantan Timur	Sumatera Selatan	
≤26	1	0	1	2
26-27	0	2	1	3
27-28	0	1	3	4
28-29	1	2	3	6
29-30	0	5	16	21
30-31	0	8	6	14
31-32	0	2	2	4
32-33	0	3	1	4
33-34	0	0	0	0
>34	0	0	1	1
<b>Jumlah</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>59</b>

Berdasarkan Tabel 1 di atas, maka dapat terlihat bahwa batu bara yang dikirimkan dari Provinsi Kalimantan Selatan berjumlah dua kali pengiriman dengan satu kali pengiriman memiliki nilai kelembaban kurang dari 26% dan satu pengiriman lainnya memiliki nilai kelembaban di antara 28-29%. Batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur memiliki nilai kelembaban dengan sebaran dari 26-33%. Berdasarkan Tabel 1, delapan dari 23 pengiriman (34,8%) memiliki nilai kelembaban berkisar 30-31%. Batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan menunjukkan bahwa 16 dari 34 pengiriman (47,1%) memiliki nilai 29-30%. Berdasarkan nilai *weighted mean* parameter kelembaban menunjukkan bahwa batu bara yang dipasok dari Provinsi Kalimantan

Selatan memiliki rata-rata 27,45%. Nilai rata-rata (*weighted mean*) dari batu bara Provinsi Kalimantan Timur adalah sebesar 29,58%. Di sisi lain, batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan menunjukkan nilai rata-rata kelembabannya adalah sebesar 29,98%. Semakin tinggi kelembaban pada batu bara yang dipasok menggambarkan bahwa semakin basah batu bara tersebut. Berdasarkan perhitungan kandungan karbon ASTM D3172-13, semakin tinggi kelembaban akan menurunkan kandungan karbon dalam batu bara.

### Parameter Kandungan Zat Terbang

Analisis proksimat dilakukan untuk menentukan seberapa banyak kandungan zat terbang dalam pasokan batu bara di PLTU “Pelita” selama 2019. Zat terbang (*volatile matter*) ini adalah zat-zat yang akan mengisi pori-pori batu bara dan akan menguap apabila dipanaskan. Zat-zat yang mudah menguap ini biasanya adalah golongan gas, seperti metana dan uap air.

Berdasarkan analisis proksimat tersebut, menunjukkan bahwa batu bara yang dipasok ke PLTU “Pelita” selama 2019 memiliki nilai parameter kandungan zat terbang sebesar 34,41% (*weighted mean*). Berdasarkan asal provinsinya, batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan secara berurutan memiliki nilai kandungan zat terbang sebesar 36,74%, 35,26% dan 33,44%. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan kandungan zat terbang pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” selama 2019 ditunjukkan oleh Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan asal provinsi dan kandungan zat terbang batu bara

Parameter	Asal Provinsi (pengiriman)			Jumlah Pengiriman
	Kalimantan Selatan	Kalimantan Timur	Sumatera Selatan	
≤2	0	0	7	7
33-34	0	1	22	23
34-35	0	7	5	12
35-36	0	11	0	11
>36	2	4	0	6
<b>Jumlah</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>59</b>

Berdasarkan informasi pada Tabel 2 di atas, maka dapat diketahui bahwa batu bara dari Provinsi

Kalimantan Selatan memiliki kandungan zat terbang yang tinggi yaitu lebih dari 36% untuk kedua pengiriman batu bara yang ada pada 2019. PLTU “Pelita” menerima pasokan batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur dengan sebelas dari 23 pengiriman (47,83%) memiliki nilai kandungan zat terbang berkisar 35-36%. Batu bara yang dikirimkan dari Provinsi Sumatera Selatan memiliki nilai kandungan zat terbang lebih rendah dibandingkan dengan Provinsi Kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Hal ini terlihat dari 34 pengiriman terdapat 22 pengiriman (64,71%) yang memiliki kandungan zat terbang hanya berkisar 33-34%. Hal ini menunjukkan bahwa batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan lebih sedikit pori-pori pada batu baranya. Pori-pori yang sedikit pada batu bara akan meningkatkan kandungan karbon pada batu bara berdasarkan analisis proksimat dengan metode ASTM D3172-13.

#### Parameter Kandungan Abu

Parameter kandungan abu dalam analisis proksimat yang dilakukan oleh PT Surveyor Indonesia terhadap pasokan batu bara di PLTU “Pelita” selama 2019 ditelaah berdasarkan metode ASTM D3174-12. Penentuan nilai kandungan abu pada batu bara didapatkan dari massa yang diukur dari batu bara yang telah dibakar pada suhu 600-700°C. Hal tersebut menunjukkan produksi abu dari pembakaran batu bara. Pada kasus di PLTU “Pelita”, kandungan abu sangat mempengaruhi proses penanganan limbah hasil produksi yaitu *fly ash* dan *bottom ash*. Pada 2019, *fly ash* dan *bottom ash* merupakan limbah B3 (Bahan Berbahaya dan Beracun) berdasarkan Peraturan Pemerintah Indonesia (Pemerintah Republik Indonesia, 2014). Berdasarkan hal tersebut, diharapkan batu bara yang dipasok ke PLTU “Pelita” memiliki kandungan abu yang rendah. Berdasarkan 59 pengiriman pada 2019, batu bara yang diterima memiliki kandungan abu sebesar 3,05% (*weighted mean*). Hal ini menunjukkan bahwa 3,05% dari total batu bara yang digunakan akan menjadi abu yang merupakan limbah B3. Sebaran nilai kandungan abu berdasarkan provinsi asal batu bara ditunjukkan pada Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan asal provinsi dan kandungan abu batu bara

Parameter	Asal Provinsi (pengiriman)			Jumlah Pengiriman
	Kalimantan Selatan	Kalimantan Timur	Sumatera Selatan	
≤2,0	0	0	2	2
2,0-2,5	0	2	1	3
2,5-3,0	0	19	6	25
3,0-3,5	0	2	13	15
3,5-4,0	1	0	8	9
4,0-4,5	0	0	3	3
4,5-5,0	0	0	0	0
>5,0	1	0	1	2
<b>Jumlah</b>	<b>2</b>	<b>23</b>	<b>34</b>	<b>59</b>

Berdasarkan informasi pada Tabel 3 di atas maka dapat diketahui bahwa pasokan batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan pernah satu kali di atas 5,0%. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan abu sangat tinggi, sehingga PLTU “Pelita” akan terbebani dalam hal penanganan limbah B3 berupa abu hasil pembakaran batu bara. Pasokan batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur paling baik di antara provinsi lainnya. Hal ini ditunjukkan oleh 21 dari 23 pengiriman memiliki nilai kandungan abu ≤3,0% yang menunjukkan bahwa produksi abu akan jauh lebih sedikit dibandingkan dari provinsi lain. Batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan menunjukkan bahwa 13 dari 34 pengiriman (38,24%) memiliki kandungan abu berkisar pada 3,0-3,5%. Perhitungan rata-rata menggunakan metode *weighted mean* dilakukan untuk mengetahui nilai rata-rata kandungan abu batu bara berdasarkan asal provinsi dan menunjukkan bahwa nilai kandungan abu rata-rata pada batu bara yang berasal dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan secara berurutan adalah sebesar 4,37%, 2,70% dan 3,30%. Berdasarkan nilai rata-rata ini, maka dapat diestimasi abu hasil pembakaran batu bara berdasarkan asal provinsi. Batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan menghasilkan 76.367,12 ton abu. Produksi abu hasil pembakaran batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan secara berurutan adalah sebanyak 683,201.86 ton dan 855.822,37 ton.

### Parameter Kandungan Karbon

Parameter kandungan karbon pada analisis proksimat didapatkan dengan menerapkan metode ASTM D3172-13. Nilai kandungan karbon pada batu bara menunjukkan banyaknya karbon pada batu bara. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan pengurangan 100% oleh kelembaban, kandungan zat terbang dan abu. Pada percobaan di laboratorium, massa yang hilang pada saat pembakaran dengan suhu 600-700°C digambarkan sebagai kandungan karbon yang bereaksi dengan oksigen dan menjadi gas baik karbon dioksida dan karbon monoksida (Prakoso & Windarta, 2021). PLTU “Pelita” pada 2019 menerima pasokan batu bara dengan kandungan karbon 32,73% secara rata-rata. Berdasarkan sebaran nilai kandungan karbon pada 59 pengiriman pasokan batu bara, ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan asal provinsi dan kandungan karbon batu bara

Parameter	Asal Provinsi (pengiriman)			Jumlah Pengiriman	
	Kalimantan Selatan	Kalimantan Timur	Sumatera Selatan		
Kandungan Karbon (%)	≤31	0	4	1	5
	31-32	2	8	2	12
	32-33	0	8	6	14
	33-34	0	2	18	20
	34-35	0	1	2	3
	35-36	0	0	3	3
	36-37	0	0	1	1
	>37	0	0	1	1
Jumlah	2	23	34	59	

Berdasarkan Tabel 4 di atas, batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan memiliki nilai kandungan karbon berkisar pada 31-32%. Pengiriman pasokan batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur sebanyak 20 kali memiliki nilai kandungan karbon ≤33%. Batu bara yang dipasok dari Provinsi Sumatera Selatan sebanyak 18 kali dari 34 pengiriman (52,94%) memiliki nilai kandungan karbon berkisar pada 33-34%.

Batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan memiliki nilai kandungan karbon (*weighted mean*) secara berurutan sebesar 31,44%, 31,94% dan 33,60%. Hal ini menunjukkan bahwa pasokan batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan memiliki kandungan

karbon yang paling tinggi di antara provinsi lainnya. Namun, hubungan kandungan karbon dengan nilai kalor batu bara belum dapat dihubungkan. Hal ini dikarenakan metode pengujian untuk menentukan nilai kandungan karbon dan nilai kalor batu bara menggunakan metode yang berbeda. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan regresi linear antara kandungan karbon dan nilai kalor batu bara (Fadhili & Ansosry, 2019).

### Nilai Kalor Batu Bara

Penerapan metode ASTM D5865-13 dapat menentukan nilai kalor batu bara. Pada penelitian ini, jenis nilai kalor batu bara adalah GCV (*Gross Caloric Value*) pada kondisi saat diterima atau *as received*. Berdasarkan pengujian tersebut didapatkan pada 2019 pasokan batu bara di PLTU “Pelita” memiliki nilai kalor rata-rata sebesar 4.647,71 kkal/kg. Berdasarkan asal provinsi batu bara, batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan memiliki nilai kalor batuan secara berurutan sebesar 4.845,54 kkal/kg, 4.504,92 kkal/kg dan 4.773,68 kkal/kg. Hal ini menunjukkan bahwa pasokan batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan memiliki nilai kalor yang paling tinggi di antara provinsi lainnya. Sebaran jumlah pengiriman dan nilai kalor batubara berdasarkan asal provinsi dapat dilihat pada Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Sebaran jumlah pengiriman berdasarkan asal provinsi dan nilai kalor batu bara

Parameter	Asal Provinsi (pengiriman)			Jumlah Pengiriman	
	Kalimantan Selatan	Kalimantan Timur	Sumatera Selatan		
Nilai Kalor (Mkal/kg)	≤4,4	0	4	0	4
	4,4-4,6	0	15	2	17
	4,6-4,8	1	4	24	29
	4,8-5,0	1	0	4	5
	>5,0	0	0	4	4
Jumlah	2	23	34	59	

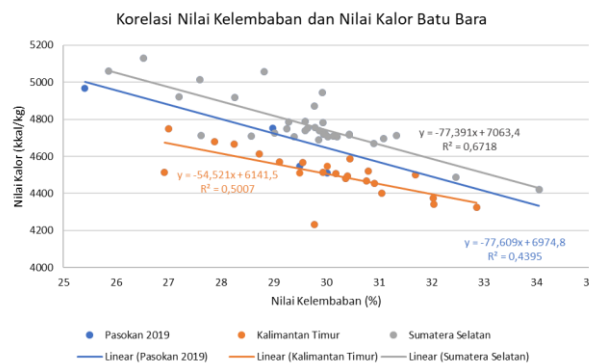
Berdasarkan Tabel 5 di atas, batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan memiliki nilai kalor berkisar 4,6 Mkal/kg - 5,0 Mkal/kg. Batu bara yang berasal dari Provinsi Kalimantan Timur, sebanyak 15 kali pengiriman dari 23 pengiriman (65,22%)

memiliki nilai kalor sebesar 4,4 Mkal/kg - 4,6 Mkal/kg. Selanjutnya, batu bara dengan nilai kalor sebesar 4,6 Mkal/kg - 4,8 Mkal/kg dipasok ke PLTU “Pelita” pada 2019 sebanyak 24 kali dari Provinsi Sumatera Selatan.

**Korelasi Hasil Analisis Proksimat dengan Nilai Kalor Batu Bara**

Korelasi antara hasil analisis proksimat dengan nilai kalor batu bara dari pasokan batu bara di PLTU “Pelita” selama 2019 dilakukan hanya pada pasokan yang berasal dari Provinsi Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan juga seluruh pasokan selama 2019. Korelasi khusus pasokan dari Provinsi Kalimantan Selatan tidak dapat dilakukan karena jumlah pengiriman sangat sedikit, yaitu dua kali dalam satu tahun. Hal tersebut menunjukkan bahwa jumlah data terlalu sedikit untuk menentukan korelasi antara hasil analisis proksimat dengan nilai kalor batu bara tersebut.

Korelasi pertama dilakukan pada parameter kelembaban dan nilai kalor pada batu bara. Korelasi ini ditunjukkan oleh Gambar 1 berikut. Korelasi yang terbentuk berdasarkan regresi linear. Berdasarkan nilai regresi linear tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kelembaban pada batu bara akan membuat nilai kalor batu bara tersebut semakin rendah. Korelasi pada pasokan 2019 menunjukkan bahwa 43,95% data yang menggambarkan kondisi tersebut, sedangkan untuk pasokan dari Provinsi Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan menunjukkan 50,07% dan 67,18% data yang menggambarkan korelasi tersebut. Korelasi yang ditunjukkan oleh regresi linear pasokan batu bara tahun 2019 dan Kalimantan Timur menunjukkan koefisien korelasi (R) sebesar 0,663 dan 0,708 yang berarti korelasi kuat. Di sisi lain, korelasi yang ditunjukkan oleh batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan menunjukkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,819 yang berarti korelasi sangat kuat.

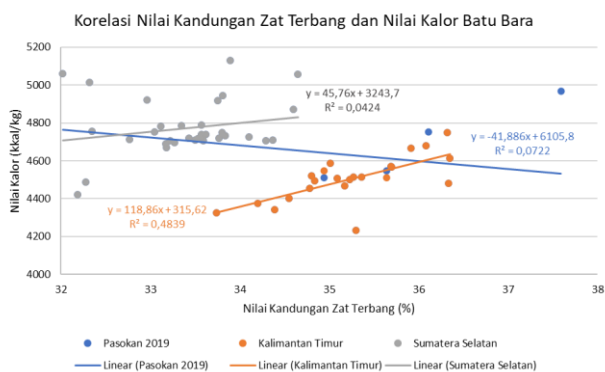


Gambar 1. Grafik korelasi nilai kelembaban dan nilai kalor batu bara pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019

Korelasi antara nilai kandungan zat terbang dan nilai kalor batu bara ditunjukkan oleh Gambar 2 di bawah. Berdasarkan grafik tersebut menunjukkan bahwa pasokan batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur memiliki nilai kalor yang bergantung pada kandungan zat terbang. Hal ini digambarkan oleh 48,39% data yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan zat terbang pada batu bara maka semakin tinggi pula nilai kalor pada batu bara tersebut. Batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan juga menunjukkan korelasi yang sama dengan batu bara Provinsi Kalimantan Timur. Namun, hanya 4,24% data yang menunjukkan korelasi tersebut. Di sisi lain, pasokan batu bara periode 2019 menunjukkan korelasi yang berbeda dengan korelasi yang ditunjukkan oleh batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan. Pasokan 2019 menunjukkan korelasi bahwa semakin tinggi kandungan zat terbang pada batu bara maka semakin rendah nilai kalor pada batu bara tersebut. Hal ini juga ditunjukkan oleh 7,22% data pada periode 2019. Nilai koefisien korelasi (R) dari pasokan 2019, batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan secara berurutan sebesar 0,269; 0,696; dan 0,206. Berdasarkan nilai koefisien korelasi tersebut, korelasi yang ditunjukkan oleh batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur adalah korelasi kuat, sedangkan korelasi pada pasokan 2019 dan batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan adalah korelasi rendah.

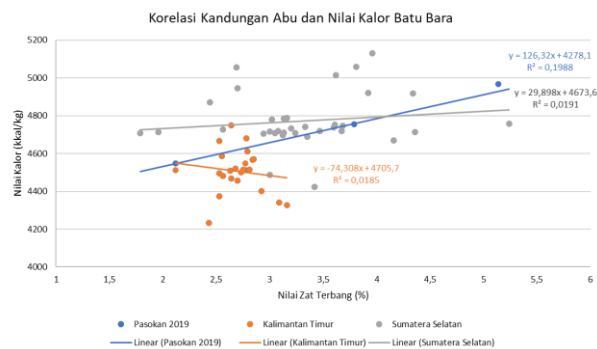
Rendahnya data yang menggambarkan korelasi antara nilai kandungan zat terbang dan nilai kalor

batu bara mengakibatkan analisis statistik lanjut seperti ANOVA dibutuhkan untuk melihat signifikansi dari pengaruh nilai kandungan zat terbang terhadap nilai kalor batu bara.



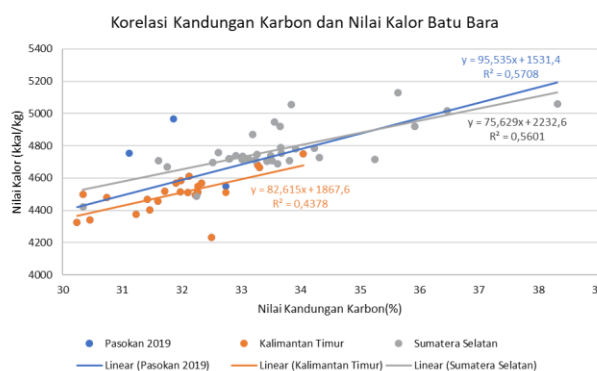
Gambar 2. Grafik korelasi nilai kandungan zat terbang dan nilai kalor batu bara pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019

Nilai kandungan abu dan nilai kalor batu bara pada pasokan 2019 menunjukkan korelasi bahwa semakin tinggi nilai kandungan abu pada batu bara maka nilai kalor batu bara tersebut akan semakin tinggi pula. Korelasi yang sama juga ditunjukkan oleh batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan. Namun, korelasi ini hanya digambarkan oleh 1,91% data pada pasokan 2019 dan batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan. Berdasarkan nilai koefisien korelasinya, pasokan 2019 memiliki korelasi sedang (0,446). Nilai koefisien korelasi dari data yang ditunjukkan oleh batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan sebesar 0,138 yang berarti korelasinya sangat rendah. Di sisi lain, korelasi yang berlawanan ditunjukkan oleh batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur. Korelasi yang ditunjukkan adalah semakin tinggi nilai kandungan abu pada batu bara akan mengakibatkan nilai kalor batu bara tersebut semakin rendah. Namun, hal ini digambarkan oleh 1,85% data saja. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (R) dari data batu bara Provinsi Kalimantan Timur, maka korelasinya sangat rendah dengan nilai 0,136. Gambar 3 berikut menunjukkan grafik korelasi nilai kandungan abu dengan nilai kalor batu bara pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019.



Gambar 3. Grafik korelasi nilai kandungan abu dan nilai kalor batu bara pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019

Berdasarkan Gambar 4 di bawah menunjukkan korelasi bahwa semakin tinggi nilai kandungan karbon pada batu bara maka akan semakin tinggi nilai kalor pada batu bara tersebut. Hal ini digambarkan oleh 43,78%, 56,01% dan 57,08% data dari batu bara Provinsi Kalimantan Timur, Sumatera Selatan dan seluruh pasokan batu bara periode 2019. Berdasarkan nilai koefisien korelasi (R) dari batu bara Provinsi Kalimantan Timur, Sumatera Selatan dan seluruh pasokan batu bara periode 2019 yang secara berurutan memiliki nilai 0,662; 0,748; dan 0,756 menunjukkan bahwa korelasi yang kuat antara nilai kandungan karbon dan nilai kalor batu bara.



Gambar 4. Grafik korelasi nilai kandungan karbon dan nilai kalor batu bara pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019

### Nilai Fuel Ratio dan Jenis Batu Bara

Nilai *fuel ratio* didapatkan dengan membandingkan nilai kandungan karbon dan kandungan zat terbang pada batu bara. Batu bara yang dipasok ke PLTU “Pelita” periode 2019 memiliki nilai *fuel ratio* sebesar 0,951 secara rata-rata



(*weighted mean*). Berdasarkan asal provinsi pasokan batu bara, batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan memiliki nilai *fuel ratio (weighted mean)* secara berurutan sebesar 0,856; 0,906; dan 1,005. Berdasarkan nilai tersebut klasifikasi batu bara berdasarkan nilai *fuel ratio* (Frazer, 1987), maka batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur dan Sumatera Selatan merupakan batu bara jenis bituminus dengan kandungan zat terbang menengah-tinggi dan seluruh golongan subbituminus.

## **PENUTUP**

### **Simpulan dan Saran**

Berdasarkan penelitian mengenai karakteristikasi batu bara berdasarkan analisis proksimat pada pasokan batu bara di PLTU “Pelita” periode 2019, didapatkan simpulan bahwa batu bara yang dipasok ke PLTU “Pelita” periode 2019 memiliki nilai rata-rata untuk parameter kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, kandungan karbon dan nilai kalor batu bara secara berurutan sebesar 29,70%; 34,41%; 3,05%; 32,73%; dan 4.647,71 kkal/kg. Berdasarkan asal provinsi nilai rata-rata untuk parameter kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, kandungan karbon dan nilai kalor pada batu bara dari Provinsi Kalimantan Selatan secara berurutan adalah 27,45%; 36,74%; 4,37%; 31,44% dan 4.845,54 kkal/kg. Berdasarkan asal provinsi nilai rata-rata untuk parameter kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, kandungan karbon dan nilai kalor pada batu bara dari Provinsi Kalimantan Timur secara berurutan adalah 29,98%; 35,26%; 2,70%; 31,94% dan 4.504,92 kkal/kg. Berdasarkan asal provinsi nilai rata-rata untuk parameter kelembaban, kandungan zat terbang, kandungan abu, kandungan karbon dan nilai kalor pada batu bara dari Provinsi Sumatera Selatan secara berurutan adalah 29,58%; 33,44%; 3,30%; 33,60% dan 4.773,68 kkal/kg.

Korelasi kuat ditunjukkan oleh pengaruh nilai kelembaban (0,663) dan kandungan karbon (0,756) terhadap nilai kalor pada batu bara. Korelasi lemah

ditunjukkan oleh pengaruh nilai kandungan zat terbang dan abu terhadap nilai kalor pada batu bara. Berdasarkan nilai *fuel ratio*, seluruh batu bara yang dipasok dari semua provinsi ke PLTU “Pelita” periode 2019 berjenis bituminus dengan zat terbang menengah-tinggi dan seluruh golongan subbituminus.

Peneliti menyarankan untuk penentuan korelasi pada nilai kelembaban dan kandungan karbon terhadap nilai kalor batu bara dapat dianalisis dengan metode ANOVA dan menghitung signifikansinya berdasarkan *t-test*.

## **Ucapan Terima Kasih**

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada PLTU “Pelita” yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Fadhili, M. A. & Ansosry, 2019. Analisis Pengaruh Perubahan Nilai Total Moisture, Ash Content dan Total Sulphur terhadap Nilai Kalori Batubara Bb-50 di Tambang Banko Barat PT. Bukit Asam, Tbk., Tanjung Enim, Sumatera Selatan. *Jurnal Bina Tambang, Vol.4 No. 13*, pp. 54-64.
- Frazer, P., 1987. The Classification of Coals. *Trans. Amer. Inst. Min.*, Volume 6, pp. 430-451.
- Gunawan, W. & Gunawan, B. A., 2020. Studi Efisiensi Boiler Terhadap Nilai Kalor Batubara pada Boiler Jenis Pulverizer Coal Kapasitas 300 T/H (Studi Kasus PT XYZ). *Jurnal InTent, 3(2)*, pp. 122-130.
- Hu, S.-P., 2010. *Simple Mean, Weighted Mean or Geometric Mean?*. San Diego, s.n.
- Idris, M. et al., 2022. Analisis Pengaruh Ukuran Batubara terhadap Performa PLTU dengan Jenis Boiler Tipe Chain Grate. *Journal of Mechanical Engineering, Manufactures, Materials and Energy, 6(1)*, p. 104.
- Komariyah, W. E., 2012. *Peningkatan Kualitas Batubara Indonesia Peringkat Rendah melalui Penghilangan Moisture dengan Pemanasan Gelombang Mikro.*, Depok: Universitas Indonesia.
- Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, 2004. *Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1708K/30/MEM/2004 tentang Penetapan Standar Kompetensi Tenaga Teknik Ketenagalistrikan Bidang Pembangkit Tenaga Listrik, Sub Bidang Perencanaan, Sub Bidang*

*Konstruksi, Sub Bidang Inspeksi, Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.*

Pemerintah Republik Indonesia, 2014. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 101 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*, Jakarta: Pemerintah Republik Indonesia.

PLTU "Pelita", 2020. *Laporan Izin Lingkungan Semester II Tahun 2019 PLTU "Pelita"*, Indonesia: PLTU "Pelita".

Prakoso, S. J. & Windarta, J., 2021. Tinjauan Metode Penangkapan Karbon untuk PLTU Batu Bara. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, pp. 27-35.

Prawoto & Rahman, R. A., 2021. *Mesin Konversi Energi*, Jakarta: Universitas Pancasila.

PT Surveyor Indonesia, 2020. *Sertifikat Pengambilan Sampel dan Analisa*, Indonesia: PT Surveyor Indonesia.

Tarsito, S., 2014. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

Yuliara, I. M., 2016. *Modul Regresi Linear Sederhana*. Bali: Universitas Udayana.

Yuliyani, I., Maridjo & M, M. A., 2019. Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion untuk PLTU Kapasitas 8 MW. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), pp. 1-8.

-----