

Korelasi Berbasis Nilai Kalori Batubara Terhadap Analisis Proksimat Pada Industri Semen

Yeti Widyawati^{1,*}, Abeth Sonjaya², Intan Fitriana³, dan Wiji Lestari⁴

¹ Prodi Teknik Kimia Universitas Jayabaya Jalan Raya Bogor Km 28 Cimanggis Jakarta, Indonesia

² Prodi Teknik Mesin Universitas Jayabaya Jalan Raya Bogor Km 28 Cimanggis Jakarta, Indonesia

³ Mahasiswa Prodi Teknik Kimia Universitas Jayabaya Jalan Raya Bogor Km 28 Cimanggis Jakarta, Indonesia

⁴ Prodi Teknik Elektro Universitas Jayabaya Jalan Raya Bogor Km 28 Cimanggis Jakarta, Indonesia

*) Corresponding author: abethw21@gmail.com

Abstract

Proximate analysis is an analytical approach that provides mass fractions of fixed carbon, volatile matter, residual moisture and ash content in coal. Of the many coal quality parameters available, only a few are usually meaningful for further use. The purpose of this study is to find the relationship between the calorific value of six samples for all types of coal, namely High Calorific Value (6564.91-6886.21 kcal/kg), Medium Calorific Value (5725.06-5925.68 kcal/kg) and Low Calorific Value (5159.22-5413.83 kcal/kg) with the values of residual moisture, volatile matter, ash content, fixed carbon, acid and sulphur tested by proximate analysis, bomb calorimeter and . The linearity or tendency of correlation between two variables is expressed by the correlation coefficient (R²). The higher the calorific value of a coal, whether HCV, LCV or MCV, the greater the effect on the proximate value of the coal. However, the effect is not significant with the addition of the calorific value on acid and sulphur because the higher the calorific value obtained, the higher the acid value for coal sample B with an average of 22.40% and but for the sulphur value is relatively fixed, especially for LCV coal samples.

Abstrak

Analisis proximate merupakan analisa pendekatan yang menghasilkan fraksi massa dari *fixed carbon*, *volatile matter*, *residual moisture*, dan *ash content* dalam batubara. Dari banyaknya parameter kualitas batubara yang dimiliki biasanya hanya beberapa saja yang bermakna dalam melanjutkan suatu kemanfaatan tertentu. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari hubungan antara *heating value* dari enam sampel untuk semua jenis batubara yaitu *High Calorific Value* (6564,91–6886,21 kcal/kg), *Medium Calorific Value* (5725,06–5925,68 kcal/kg), dan *Low Calorific Value* (5159,22–5413,83 kcal/kg) dengan nilai residual moisture, volatile matter, ash content, fixed carbon, acid, dan sulfur diuji dengan analisis proksimat, bomb calorimeter, dan . Linieritas atau kecenderungan korelasi antara dua variabel dinyatakan dalam koefisien relasi (R²). Semakin besar nilai *heating value* suatu batubara semua jenis baik HCV, LCV maupun MCV akan berpengaruh terhadap nilai proksimat batubara. Namun pengaruhnya tidak signifikan dengan penambahan nilai *heating value* terhadap acid dan sulfur karena semakin besar nilai *heating value* yang didapat, nilai acid untuk sampel batubara B dengan rata-rata 22,40% dan namun untuk nilai sulfur relative tetap khususnya untuk sampel batubara golongan LCV.

Kata kunci: batubara, heating value, nilai koefisien relasi, uji proksimat

PENDAHULUAN

Untuk mendapatkan hasil pembakaran yang baik tentunya harus menggunakan batubara yang berkualitas, semakin tinggi intensitas parameter yang berpengaruh maka akan semakin tinggi mutu batubara yang terbentuk. Batubara merupakan materi heterogen yang jika dilihat dari sisi kimiawi terdiri dari komponen *moisture* (air), *inorganic matter* (zat anorganik), dan *organic matter* (zat organik) dan pada saat pembakaran, komponen *organic matter* menghasilkan nilai kalor.

Nilai kalor batubara tidak terlepas dari kandungan air dan debu. Akan tetapi kadar karbon bebas (*volatile*) juga berpengaruh secara kompleks pada nilai kalor ini, karena rangkaian hidrokarbon pada batubara menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan karbon bebas. Semakin tua rank batubara, kadar elemen yang terbentuk seperti gas hidrogen, nitrogen dan oksigen akan mengecil dan sebaliknya kadar karbonnya akan meningkat sehingga menghasilkan banyak energi, seperti contoh batubara antrachite. Sedangkan semakin muda rank batubara, kadar elemen yang terbentuk akan membesar dan menghasilkan kelembaban yang tinggi sehingga kandungan energi pada batubara ini rendah. Kadar hidrogen pada batubara relatif lebih rendah (berkisar antara 2–5%) [1][2] bila dibandingkan dengan bahan bakar minyak dan gas, sehingga gas hasil pembakarannya akan mengandung uap air yang lebih sedikit dan perbedaan antara gross dan *net calorific value* adalah kecil (berkisar antara 200–300 kkal/g).

Dalam batubara terdapat beberapa kandungan air (*Residual Moisture*), zat terbang (*Volatile Matter*), kadar abu (*Ash Content*), karbon tetap (*Fixed Carbon*), dan sulfur. Hal ini dapat mempengaruhi kualitas pembakaran pada semen, karena energi panas yang dihasilkan dengan baik tergantung pada contoh batubara serta kandungan yang dimilikinya oleh karena itu kita dapat mengestimasi kalori yang ditimbulkannya dengan cara membuat korelasi antara unsur–unsur komponen batubara. Tujuan dari penelitian ini adalah mencari pengaruh antara *Heating Value* dengan Nilai *Residual Moisture*, *Volatile Matter*, *Ash Content*, *Fixed Carbon*, *Acid*, dan Sulfur untuk semua jenis batubara yaitu HCV (*High Caloricific Value*), MCV (*Medium Caloricific Value*) dan LCV (*Low Caloricific Value*) [3].

METODE PENELITIAN

Batubara yang akan diuji berasal dari 6 sampel yang berasal dari beberapa sumber. Analisis proksimat digunakan untuk mengukur kandungan abu, kelembaban, zat mudah menguap, dan karbon tetap dan biasanya dilakukan dalam percobaan laboratorium. Melakukan klasifikasi nilai kalori batubara sesuai dengan Klasifikasi Batubara Indonesia, yang didasarkan pada Keppres No. 13 Tahun 2000 diperbaharui dengan Peraturan Pemerintah No. 45 Tahun 2003 [4], epmen ESDM No. 77.K-MB.01-MEM.B-2022 [5] dan modifikasi dari Sistem Amerika Serikat (ASTM), Sistem Internasional (United Nations-Economic Commission for Europe), dan Standar Nasional Indonesia (SNI) 5015-2011 [6][7]. Berikut adalah alat–alat yang digunakan seperti analisis *Residual Moisture* (ASTM D3173) menggunakan oven, timbangan, desikator, dan cawan petridish. Total moisture pada batubara diwakili dengan mengukur kehilangan berat dari pengeringan secara aktif dalam atmosfer udara di bawah kondisi suhu, waktu, dan aliran udara yang dikontrol secara ketat. Keberadaan uap air merupakan faktor penting dalam penyimpanan dan pemanfaatan batubara, karena uap air menambah berat yang tidak perlu selama pengangkutan, mengurangi nilai kalori, dan menimbulkan beberapa masalah penanganan; analisis *Volatile Matter* (ASTM D3175) menggunakan stopwatch, timbangan, tang *crusibel*, *furnace*, desikator, dan cawan *crusibel*. *Volatile matter* adalah material yang dikeluarkan ketika batubara dipanaskan hingga 950°C tanpa adanya udara dalam kondisi tertentu. Terdiri dari campuran gas, senyawa organik bertitik didih rendah yang mengembun

menjadi minyak pada saat pendinginan, dan ter. Secara umum, batubara dengan kandungan *volatile matter* yang tinggi mudah terbakar dan sangat reaktif dalam aplikasi pembakaran. Karbon tetap adalah residu padat yang mudah terbakar yang tertinggal di dalam tungku setelah materi yang mudah menguap disuling, sebagian besar terdiri dari karbon tetapi juga mengandung sejumlah hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen yang tidak terbuang bersama gas. Ini memberikan perkiraan kasar dari nilai kalor batubara; analisis *Ash content* (ASTM D3174) menggunakan timbangan, crusibel, furnace, dan desikator; analisis total Carbon dan Sulfur menggunakan Eltra CS 580, *combustion boat*, batang besi pendorong, dan timbangan. Abu adalah residu yang tidak mudah terbakar yang tersisa setelah batubara dibakar. Abu mengurangi kapasitas penanganan dan pembakaran, mempengaruhi efisiensi pembakaran dan efisiensi boiler sehingga meningkatkan biaya penanganan. Kandungan sulfur dalam batu bara menimbulkan masalah dalam pemanfaatan dan polusi yang dihasilkan, karena menyebabkan korosi dan pengotoran pada tabung boiler, dan polusi atmosfer ketika dilepaskan dalam gas buang; analisis *Heating Value* (HV) menggunakan Calorimeter Parr 6200, Eltra CS 580, krus, bomb calorimeter, electrode, dan bucket calorimeter. Tabel 1 menunjukkan spesifikasi umum dari setiap kategori batubara berdasarkan American Society for Testing and Materials Standard (ASTM D388-18: Standard Classification Of Coals By Rank) [7][8] yang akan dijadikan referensi pengelompokan sampel batubara yang akan diuji.

Tabel 1. Kategori batubara berdasarkan American Society for Testing and Materials Standard Specification in ASTM Standard

Specification in ASTM Standard	Unit	High Calorific Value (HCV)	Medium Calorific Value (MCV)	Low Calorific Value (LCV)
Gross Calorific Value	kcal/kg	5,800	5,000	4,200
Net Calorific Value	kcal/kg	5,500	4,700	3,800
Total Moisture (ARB)	%	14	26	36
Inherent Moisture (ADB)	%	9	18	Approx. 24
Ash Content (ADB)	%	15	5	8
Volatile Matter (ADB)	%	41	40	Approx. 40
Ash Fusion Temperature	°C	1300	1150	1150
Total Sulfur (ADB)	%	0.6	0.9	0.8
HGI	%	40	40	Minimum 45

Keterangan: ADB - Air-Dried Basis. Dalam analisis sampel batubara, ADB mengabaikan keberadaan kelembaban selain kelembaban inheren, sementara DB (dry-basis) mengabaikan semua kelembapan, termasuk kelembapan permukaan, kelembapan yang melekat, dan kelembapan lainnya. ARB - As-Received Basis. Dalam analisis sampel batubara, ARB mempertimbangkan semua variabel dan menggunakan berat total sebagai dasar pengukuran. ARB adalah dasar yang paling banyak digunakan dalam aplikasi industri. HGI - Kemudahan relatif batu bara untuk dihancurkan tergantung pada kekuatan batu bara dan diukur dengan Hardgrove Grindability Index (HGI). Uji empiris ini menunjukkan betapa sulitnya menggiling batu bara tertentu ke ukuran partikel yang diperlukan untuk pembakaran yang efektif dalam ketel uap berbahan bakar batu bara bubuk.

Pengumpulan batubara dilakukan sampling terhadap 6 jenis batubara berdasarkan nilai kalornya yaitu *High Calorific Value* (HCV), *Medium Calorific Value* (MCV), *Low Calorific Value* (LCV) yang berasal dari 5 sampel (ASTM D-2234: *Standard Practice for Collection of a Gross Sample of Coal*) penyuplai batubara yaitu 2 sample batubara jenis HCV dengan penyuplai batubara A dan B, 2 sample batubara jenis MCV dengan penyuplai batubara C dan D, dan 2 sampel batubara jenis LCV dengan penyuplai batubara E dan F. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan sample dengan kualitas yang bisa mewakili kualitas seluruh populasi dan jumlahnya pun relatif masih bisa ditangani. Preparasi sampel batubara (ASTM D2013/2013M) bertujuan agar sample yang diperoleh untuk dilakukan penelitian benar-benar representatif dan siap atau cocok untuk dilakukan berbagai analisis di laboratorium. Secara umum preparasi sample batubara adalah pengeringan dimana proses pengeringan tidak selalu

dilakukan karena pengeringan pada batubara akan dilakukan hanya pada kondisi batubara yang terlalu basah. Karena jika kondisi batubara terlalu basah maka batubara akan sulit untuk digiling. Pemecahan butiran (size reduction) dilakukan dengan menggunakan beberapa alat sesuai dengan ukuran batubara yang diinginkan mulai dari bongkahan yang besar menggunakan crusher sampai dengan ukuran batubara 250 μ m untuk mempermudah proses analisa di laboratorium. Karena setiap titik pengambilan sample batubara dilakukan secara acak, maka proses mixing (mencampur) ini dilakukan agar sample batubara yang akan dianalisa menjadi lebih homogen dan dapat mewakili jumlah populasi yang masih dapat ditangani. Mengurangi berat sample dengan cara membagi (dividing) merupakan proses preparasi akhir yang membagi butiran sample batubara yang sudah kecil dengan alat spliter yang 22 menghasilkan ukuran batubara lebih kecil lagi yaitu 250 μ m. Diambil sekitar 50gram sample yang ditempatkan dibotol dan siap untuk dianalisa GA dan Uji HGI di laboratorium Coal Laboratory – QARD PT Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk.

Nilai kalor batu bara, yang juga dikenal sebagai nilai kalori, adalah ukuran kandungan energi dalam batu bara. Nilai ini menunjukkan berapa banyak energi yang dilepaskan ketika sejumlah batubara dibakar. Ada dua jenis nilai kalor yaitu *Gross Heating Value* (GHV) atau *Higher Heating Value* (HHV): Nilai ini mencakup total energi yang dilepaskan ketika batubara dibakar, termasuk panas laten penguapan air dan Nilai Kalor Bersih (*Net Heating Value/NHV*) atau Nilai Kalor Lebih Rendah (*Lower Heating Value/LHV*): Nilai ini tidak termasuk panas laten penguapan air. Perhitungan nilai kalor dapat dilakukan melalui metode eksperimental (misalnya, menggunakan kalorimeter bom) atau dengan menggunakan rumus empiris berdasarkan komposisi batubara.

Bomb Calorimeter digunakan untuk mengukur nilai kalor kotor secara langsung. Prosesnya melibatkan pembakaran sampel batubara di lingkungan yang kaya oksigen di dalam wadah tertutup (bom), yang terendam dalam jumlah air yang diketahui. Panas yang dilepaskan oleh pembakaran akan meningkatkan suhu air, dan peningkatan tersebut diukur untuk menghitung kandungan energinya. Untuk pendekatan yang lebih analitis, rumus empiris dapat memperkirakan nilai kalor berdasarkan komposisi batubara. Komponen-komponen utama yang perlu dianalisis meliputi karbon (C), hidrogen (H), sulfur (S), oksigen (O), dan kadar air. Dua rumus yang umum digunakan adalah rumus Dulong dan rumus Goutal [9][10]. Pada persamaan 1, Dulong memperkirakan HHV berdasarkan komposisi unsur batubara. Rumusnya adalah:

$$HHV = 33,84C + 144,22(H - O/8) + 9,0S \quad (1)$$

Di mana C, H, O, dan S adalah fraksi karbon, hidrogen, oksigen, dan sulfur dalam batubara (dinyatakan sebagai persentase dari total massa). Rumus alternatif yang digunakan adalah rumus Goutal, yang mempertimbangkan kadar air secara lebih eksplisit.

$$HHV = 0,35591 \times C + 1,1783 \times H + 0,1005 \times S + 0,10465 \times O - 0,0151 \times M \quad (2)$$

Dimana C, H, O, dan S adalah fraksi karbon, hidrogen, oksigen, dan sulfur dalam batubara. M adalah kadar air batubara.

Untuk mendapatkan hasil uji yang valid perlu dilakukan linieritas. Linieritas atau kecenderungan korelasi antara dua variabel biasanya dinyatakan dalam koefisien relasi (R^2 / R-squared/ coefficient of determination) yang dapat dihitung secara statistik [11]. Linieritas yang baik atau adanya korelasi yang erat ditunjukkan dengan nilai R-squared yang mendekati nilai satu. Dari 10 kali data pengulangan yang didapat setelah dibuat kurva ternyata terdapat beberapa data yang menyimpang sehingga nilai R-squared tidak mendekati nilai satu, untuk memperoleh koefisien relasi dan formula regresi linier tersebut maka dilakukan

pengeliminasian terhadap sample yang menyimpang. Pengeliminasian sample dilakukan dengan cara menghilangkan beberapa sample yang jauh dari garis linier guna memperoleh data yang akurat. Selain dengan membuat kurva analisis kimia yang dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai heating value dengan setiap parameter uji proximate pun dilakukan uji-T terhadap semua sampel batubara begitu juga untuk analisis hubungan *Heating Value* dengan Nilai *Residual Moisture*, *Volatile Matter*, *Ash Content*, *Fixed Carbon*, *Acid*, dan Sulfur untuk semua jenis batubara yaitu HCV (High Caloricific Value), MCV (Medium Caloricific Value) dan LCV (Low Caloricific Value). Tujuan dari analisis regresi adalah untuk menentukan nilai parameter untuk sebuah fungsi yang menyebabkan fungsi tersebut paling sesuai dengan serangkaian pengamatan data yang disediakan. Dalam regresi linier, fungsi tersebut berupa persamaan linier. Ketika terdapat lebih dari satu variabel independen, analisis regresi linier berganda digunakan untuk mendapatkan persamaan yang paling sesuai [12]. Model prediksi terbaik dipilih dengan didasarkan pada nilai koefisien determinasi yang paling tinggi [13].

Pengujian nilai Acid dan Sulfur pada 10 sampel batubara dengan melakukan penimbangan sampel batubara dan wadahnya yang kemudian dipanaskan pada suhu 106 °C, 750 °C, 950 °C, dan 1050 °C. Nilai RM, VM, Ash, dan FC, dimana $FC=100-(RM+Ash+VM)$ [14], diperoleh dengan perhitungan komponen-komponen tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis yang dilakukan dalam pengujian ini adalah analisis proksimat [1][2][15] terhadap 6 sampel batubara. Setiap parameter yang diuji dari satu sampelnya dilakukan pengujian ulang sebanyak 10 kali pengulangan. Analisis awal dilakukan untuk mengetahui karakteristik batubara awal yang berasal dari asal sampel sesuai atau tidak dengan sertifikat yang ada dan masuk dalam standar yang telah ditentukan.

Tabel 2. Hasil analisis proksimat batubara

Parameter Analisa	Satuan	HCV		MCV		LCV	
		A	B	C	D	E	F
Residual Moisture	%	5,41	5,99	14,48	11,25	16,45	16,15
Volatile Matter	%	41,78	42,00	40,58	41,55	42,34	43,58
Ash Content	%	5,13	4,62	4,36	5,04	3,87	2,96
Fixed Carbon	%	47,69	47,39	40,57	42,16	37,34	37,30
Heating Value	kcal/kg	6593,13	6869,11	5734,05	5883,01	5254,35	5364,47
Acid	%	15,85	22,34	9,59	11,04	7,94	8,04

Sumber: Laboratorium Batubara - QARD PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk.

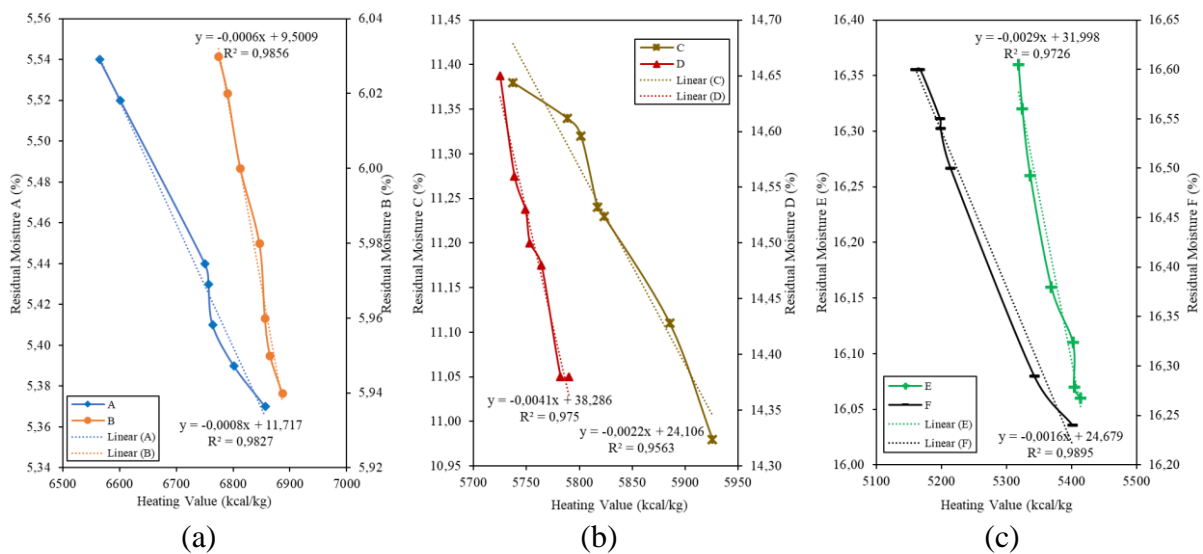
Nilai *Moisture content* dari sampel terjadi perbedaan yang disebabkan beberapa faktor seperti penyimpanan yang terbuka karena batubara memiliki sifat higroskopis yaitu dapat dengan mudah menyerap air dari udara sekitar [16].

1. Pengaruh *heating value* terhadap nilai *residual moisture*

Dari hasil penelitian dibuat kurva dari keenam sampel yang memiliki nilai kalor berbeda sehingga dapat diketahui pengaruhnya terhadap nilai residual moisture batubara. Berikut Tabel 1 yang menunjukkan kurva korelasi antara nilai *heating value* terhadap residual moisture.

Dari Gambar 1(a) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9827 (RM_A) 0.9856 (RM_B) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengeliminasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisis berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor tinggi (*High Caloricific Value*) maka nilai HV yang didapatkan pun cukup tinggi yaitu antara 6564,91 kcal/kg–6886,21 kcal/kg

atau nilai *Residual Moisture* batubara HCV yang didapatkan berkisar 5,37%–6,03%. Dari Gambar 1(b) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9563 (RM_C) dan 0,975 (RM_D) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelompokan cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisis berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor sedang (Medium Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun berada diantara HCV dan LCV yaitu 5725,06 kcal/kg–5925,68 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara MCV yang didapatkan yaitu sebesar 10,98%–14,65%. Dari Gambar 1(c) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9726 (RM_E) dan 0,9895 (RM_F) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelompokan cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor rendah (Low Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun rendah yaitu 5159,22 kcal/kg–5413,83 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara LCV yang didapatkan yaitu sebesar 16,06%– 16,60%.



Gambar 1. Korelasi nilai *Heating Value* (HV) dengan *Residual Moisture* (RM) batubara HCV(a), MCV(b), dan LCV(c)

Tabel 3. Nilai Uji-T (HV-RM) Untuk Enam Sampel Batubara

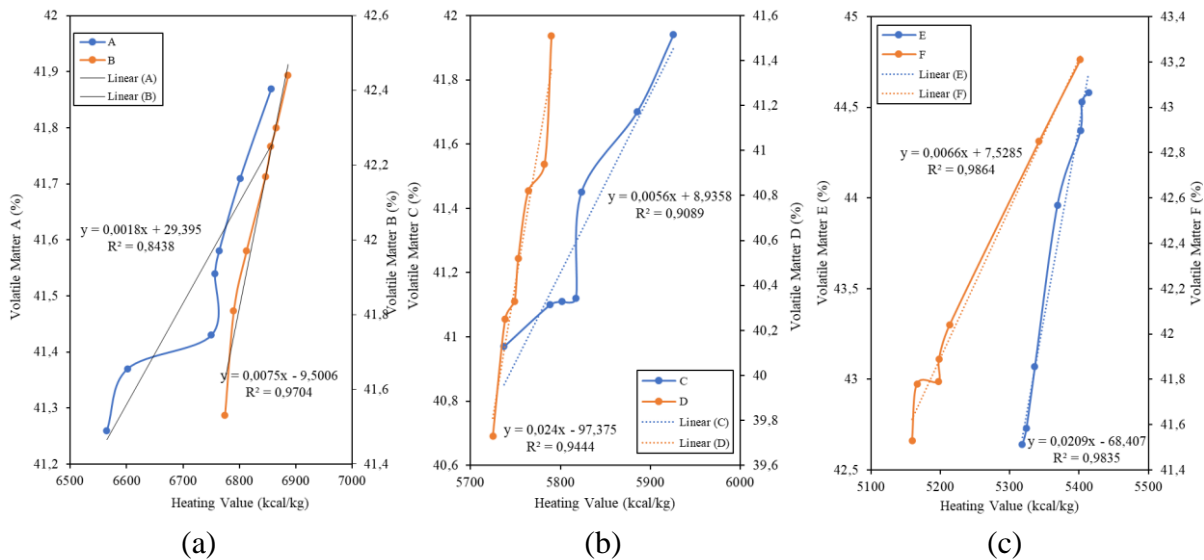
Uji-T	HCV		MCV				LCV					
	A	B	C	D	E	F						
	HV (kcal/kg)	RM (%)	HV (kcal/kg)	RM (%)	HV (kcal/kg)	RM (%)	HV (kcal/kg)	RM (%)	HV (kcal/kg)	RM (%)	HV (kcal/kg)	RM (%)
Average	6727,84	5,44	6832,8	5,98	5825,5	11,23	5757,48	14,5	5366,54	16,19	5239,77	16,47
Std deviasi	105,69	0,06	41,32	0,03	62,48	0,14	23,12	0,1	40,84	0,12	93,93	0,15
Std deviasi kuadrat	11171,26	0,004	1707,55	0	3904,09	0,02	534,38	0,01	1668,19	0,01	8823,72	0,02
Jumlah data	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Simp. baku gabungan	74,74		29,22		44,18		16,35		28,88		66,42	
T-hitung	168,28		437,1		246,2		657,29		346,58		147,12	
Derajat kebebasan	12		12		12		12		12		12	
T-tabel	2.18		2.18		2.18		2.18		2.18		2.18	

Kurva yang didapat dari korelasi antara HV dengan RM adalah kurva berbanding terbalik yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *Heating Value* suatu batubara semua jenis baik HCV, LCV maupun MCV maka nilai *Residual Moisture* atau kandungan air yang terkandung

didalam batubara pun semakin kecil. Selain dengan menggunakan kurva regresi linier hasil pengujian pun diolah dengan teknik analisis data, teknik analisis yang digunakan adalah analisis perbedaan dengan menggunakan rumus uji-T. Dalam Tabel 3 Pengambilan keputusan H0 akan diterima jika T-hitung < T-table.

2. Pengaruh nilai *heating value* terhadap nilai volatile matter

Dari hasil penelitian di buat kurva dari ke enam sampel yang memiliki nilai kalor yang berbeda-beda dan pengaruh nilai *heating value* terhadap nilai volatile matter.



Gambar 2. Korelasi nilai *Heating Value* (HV) dengan *Volatile Matter* (VM) batubara HCV(a), MCV(b), dan LCV(c)

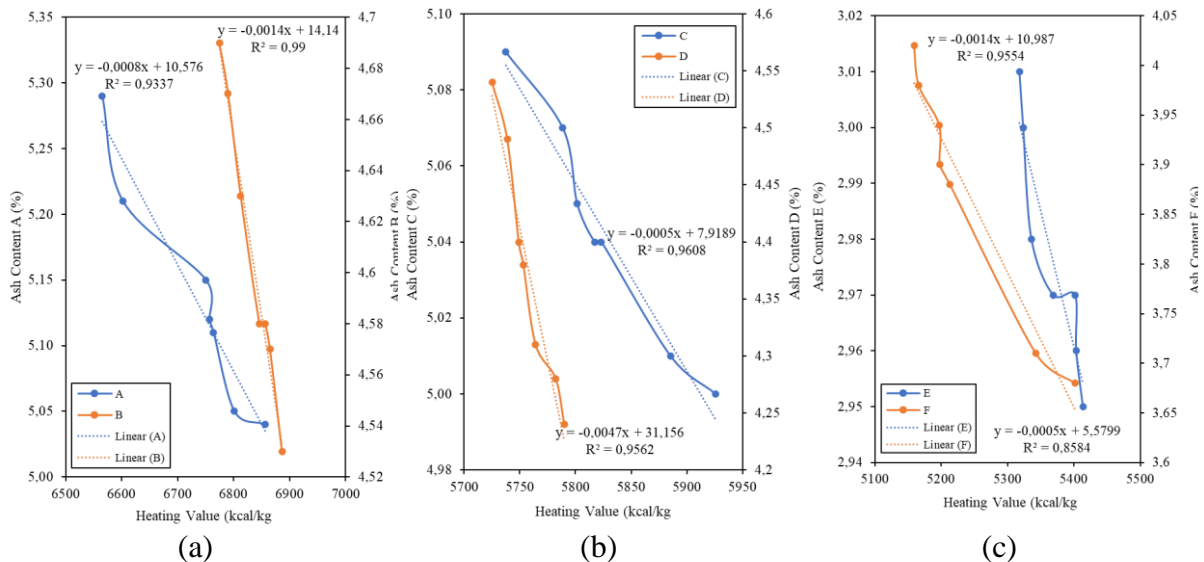
Dari Gambar 2(a) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,8438 (VM_A) dan 0.9704 (VM_B) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimirasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor tinggi (High Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun cukup tinggi yaitu antara 6564,91 kcal/kg–6886,21 kcal/kg atau nilai *Volatile Matter* batubara HCV yang didapatkan berkisar 41,26%– 42,44%. Dari Gambar 2(b) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9089 (VM_C) dan 0,9444 (VM_D) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimirasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisis berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor sedang (Medium Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun berada diantara HCV dan LCV yaitu 5725,06 kcal/kg–5925,68 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara MCV yang didapatkan yaitu sebesar 39,73%– 41,94%. Dari Gambar 2(c) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9835 (VM_E) dan 0,9864 (VM_F) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimirasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor rendah (Low Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun rendah yaitu 5159,22 kcal/kg–5413,83 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara LCV yang didapatkan yaitu sebesar 41,53%– 44,58%. Selain dengan menggunakan kurva regresi linier hasil pengujian pun diolah dengan teknik analisis data, teknik analisis yang digunakan adalah analisis perbedaan dengan menggunakan rumus uji-T. Dalam Tabel 4 Pengambilan keputusan H0 akan diterima jika T-hitung < T-table.

Tabel 4. Nilai Uji-T (HV-VM) Untuk Enam Sampel Batubara

Uji-T	HCV				MCV				LCV			
	A		B		C		D		E		F	
	HV (kcal/kg)	VM (%)	HV (kcal/kg)	VM (%)	HV (kcal/kg)	VM (%)	HV (kcal/kg)	VM (%)	HV (kcal/kg)	VM (%)	HV (kcal/kg)	VM (%)
Average	6727.84	41.54	6832.80	42.07	5825.50	41.34	5757.48	40.59	5366.54	43.70	5239.77	42.16
Std deviasi	105.69	0.21	41.32	0.32	62.48	0.36	23.12	0.57	40.84	0.86	93.93	0.63
Std deviasi kuadrat	11171.26	0.04	1707.55	0.10	3904.09	0.13	534.38	0.32	1668.19	0.74	8823.72	0.39
Jumlah data	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Simp. baku gabungan	74.74		29.22		44.18		16.35		28.88		66.42	
T-hitung	167.37		434.78		244.92		654.11		344.72		146.39	
Derajat kebebasan	12.00		12.00		12		12		12		12.00	
T-tabel	2.18		2.18		2.18		2.18		2.18		2.18	

3. Pengaruh nilai *heating value* terhadap ash content

Dari hasil penelitian di buat kurva dari ke enam sampel yang memiliki nilai kalor yang berbeda-beda dan pengaruh nilai *heating value* terhadap nilai abu batubara.



Gambar 3. Korelasi nilai *Heating Value* (HV) dengan Ash batubara HCV(a), MCV(b), dan LCV(c)

Dari Gambar 3(a) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9337 (Ash_A) dan 0,99 (Ash_B) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengeliminasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor tinggi (High Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun cukup tinggi yaitu antara 6564,91 kcal/kg–6886,21 kcal/kg atau nilai Ash Content batubara HCV yang didapatkan berkisar 4,53%– 5,29%. Dari Gambar 3(b) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9608 (Ash_C) dan 0,9562 (Ash_D) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengeliminasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisis berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor sedang (Medium Caloricific Value) maka nilai HV yang didapatkan pun berada diantara HCV dan LCV yaitu 5725,06 kcal/kg–5925,68 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara MCV yang didapatkan yaitu sebesar 4,24%– 5,09%. Dari Gambar 3(c) memperlihatkan bahwa

nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,8584 (Ash_E) dan 0,9554 (Ash_F) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimitasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor rendah (*Low Caloricific Value*) maka nilai HV yang didapatkan pun rendah yaitu 5159,22 kcal/kg–5413,83 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara LCV yang didapatkan yaitu sebesar 2,95%–4,02%. Selain dengan menggunakan kurva regresi linier hasil pengujian pun diolah dengan teknik analisis data, teknik analisis yang digunakan adalah analisis perbedaan dengan menggunakan rumus uji-T. Dalam Tabel 5 Pengambilan keputusan H_0 akan diterima jika $T\text{-hitung} < T\text{-table}$.

Tabel 5. Nilai Uji-T (HV-Ash) Untuk Enam Sampel Batubara

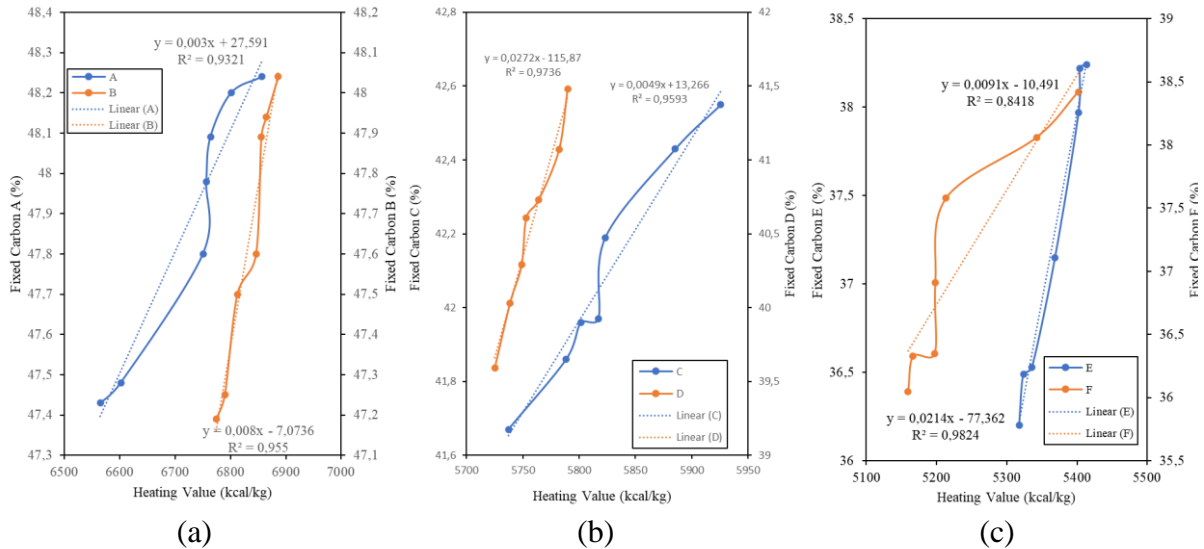
Uji-T	HCV				MCV				LCV			
	A		B		C		D		E		F	
	HV (kcal/kg)	Ash (%)	HV (kcal/kg)	Ash (%)	HV (kcal/kg)	Ash (%)	HV (kcal/kg)	Ash (%)	HV (kcal/kg)	Ash (%) (kcal/kg)	HV (kcal/kg)	Ash (%)
Average	6727.84	5.14	6832.80	4.61	5825.50	5.04	5757.48	4.38	5366.54	2.98	5239.77	3.87
Std deviasi	105.69	0.09	41.32	0.06	62.48	0.03	23.12	0.11	40.84	0.02	93.93	0.13
Std deviasi kuadrat	11171.26	0.01	1707.55	0.00	3904.09	0.0010	534.38	0.01	1668.19	0.0004	8823.72	0.02
Jumlah data	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Simp. baku gabungan	74.74		29.22		44.18		16.35		8.88		66.42	
T-hitung	168.28		437.19		246.46		658.45		347.43		147.47	
Derajat kebebasan	12.00		12.00		12		12		12		12.00	
T-tabel	2.18		2.18		2.18		2.18		2.18		2.18	

4. Pengaruh nilai *heating value* terhadap fixed carbon

Dari hasil penelitian di buat kurva dari ke enam sampel yang memiliki nilai kalor yang berbeda-beda dan pengaruh nilai *heating value* terhadap nilai fixed carbon batubara.

Dari Gambar 4(a) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9321 (FC_A) dan 0,955 (FC_B) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimitasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor tinggi (*High Caloricific Value*) maka nilai HV yang didapatkan pun cukup tinggi yaitu antara 6564,91 kcal/kg–6886,21 kcal/kg atau nilai Ash Content batubara HCV yang didapatkan berkisar 47,19%–48,24%. Dari Gambar 4(b) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9593 (FC_C) dan 0,9736 (FC_D) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimitasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisis berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor sedang (*Medium Caloricific Value*) maka nilai HV yang didapatkan pun berada diantara HCV dan LCV yaitu 5725,06 kcal/kg–5925,68 kcal/kg.

Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara MCV yang didapatkan yaitu sebesar 40,03%–42,55%. Dari Gambar 4(c) memperlihatkan bahwa nilai regresi linier (R^2) yang didapat yaitu 0,9824 (FC_E) dan 0,8418 (FC_F) yang berarti nilai R^2 sudah mendekati nilai satu, hal ini menandakan bahwa data hasil pengelimitasian cukup linier untuk dianalisis. Karena batubara yang dianalisa berada pada jenis batubara yang memiliki nilai kalor rendah (*Low Caloricific Value*) maka nilai HV yang didapatkan pun rendah yaitu 5159,22 kcal/kg–5413,83 kcal/kg. Dari kurva di atas menunjukkan bahwa pada saat nilai *Residual Moisture* batubara LCV yang didapatkan yaitu sebesar 36,05%–38,42%.



Gambar 4. Korelasi nilai *Heating Value* (HV) dengan Fixed Carbon (FC) batubara HCV(a), MCV(b), dan LCV(c)

Tabel 6. Nilai Uji-T (HV-FC) Untuk Enam Sampel Batubara

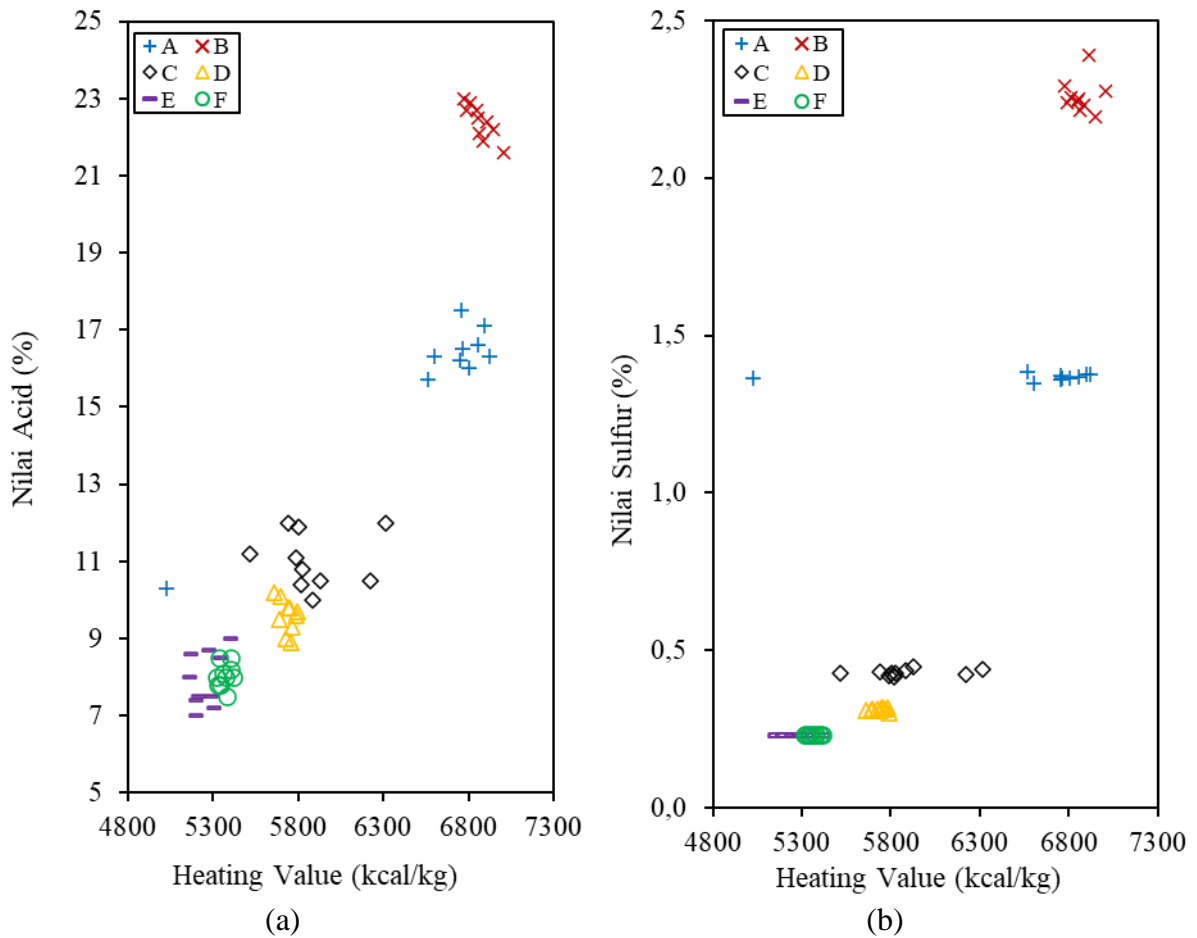
Uji-T	HCV		MCV				LCV					
	A		B		C		D		E		F	
	HV (kcal/kg)	FC (%)	HV (kcal/kg)	FC (%)	HV (kcal/kg)	FC (%)	HV (kcal/kg)	FC (%)	HV (kcal/kg)	FC (%)	HV (kcal/kg)	FC (%)
Average	6727.84	47.89	6832.80	47.63	5825.50	42.09	5757.48	40.54	5366.54	37.26	5239.77	37.10
Std deviasi	105.69	0.33	41.32	0.34	62.48	0.32	23.12	0.64	40.84	0.88	93.93	0.93
Std deviasi kuadrat	11171.26	0.11	1707.55	0.11	3904.09	0.10	534.38	0.41	1668.19	0.77	8823.72	0.86
Jumlah data	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Simp. baku gabungan	74.74		29.22		44.18		16.35		28.88		66.43	
T-hitung	167.21		434.42		244.89		654.07		345.13		146.53	
Derajat kebebasan	12.00		12.00		12		12		12		12.00	
T-tabel	2.18		2.18		2.18		2.18		2.18		2.18	

Selain dengan menggunakan kurva regresi linier hasil pengujian pun diolah dengan teknik analisis data, teknik analisis yang digunakan adalah analisis perbedaan dengan menggunakan rumus uji-T. Dalam Tabel 6 Pengambilan keputusan H0 akan diterima jika T-hitung < T-table.

5. Pengaruh nilai *heating value* terhadap acid dan sulfur

Dari hasil penelitian di buat kurva dari ke enam supplier yang memiliki nilai kalor yang berbeda beda beserta pengaruh nilai Acid dan Sulfur. Nilai acid dan Sulfur dalam alat Calorimeter Parr 6200 harus dimasukkan untuk mendapatkan nilai HV yang tepat.

Dari hasil penelitian dibuat grafik dari ke enam sampel batubara yang memiliki nilai kalor yang berbeda beda beserta pengaruh nilai Acid dan Sulfur. Nilai acid dan Sulfur dalam alat Calorimeter Parr 6200 harus dimasukkan untuk mendapatkan nilai HV yang tepat. Dari Gambar 6a dan Gambar 6b memperlihatkan grafik antara nilai *heating value* dengan acid dan nilai *heating value* dengan sulfur. Terlihat pada grafik tidak ada pengaruh antara nilai *heating value* terhadap acid dan sulfur karena semakin besar nilai *heating value* yang didapat, nilai acid untuk sampel batubara B dengan rata-rata 22,40% dan namun untuk nilai sulfur relative tetap khususnya untuk sampel batubara golongan LCV_E dan LCV_F.



Gambar 5. Hubungan Nilai HV dengan Acid (a) dan Sulfur (b) batubara HCV, MCV, dan LCV

Tidak adanya pengaruh yang begitu signifikan antar penambahan nilai *heating value* terhadap acid dan sulfur pun terjadi pada semua jenis batubara yaitu: HCV (High Caloricific Value), MCV (Medium Caloricific Value) dan LCV (Low Caloricific Value). Nilai acid dan sulfur yang didapat dari hasil penelitian tidak begitu berpengaruh terhadap nilai Heating Value. Nilai acid pada batubara A adalah 15 – 17.5% dan nilai sulfur 1–3%. Nilai acid pada batubara sampel B adalah 21–23% dan nilai sulfur 2–3%. Nilai acid pada batubara sampel C adalah 10–12% dan nilai sulfur $\pm 0,43\%$. Nilai acid pada batubara sampel D adalah ± 9 –11% dan nilai sulfur $\pm 0,31\%$ Nilai acid pada batubara sampel E adalah ± 15 –17,5% dan nilai sulfur ± 1 –3% Nilai acid pada batubara sampel F adalah $\pm 8\%$ dan nilai sulfur $\pm 0,23\%$..

KESIMPULAN

Kurva yang didapat dari korelasi antara HV dengan RM adalah kurva berbanding terbalik yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *Heating Value* suatu batubara semua jenis baik HCV, LCV maupun MCV maka nilai *Residual Moisture* atau kandungan air yang terkandung didalam batubara pun semakin kecil. Kurva yang didapat dari korelasi antara HV dengan VM adalah kurva berbanding lurus yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *Heating Value* suatu batubara batubara semua jenis baik HCV, LCV maupun MCV maka akan semakin besar pula volatile matter yang terkandung didalam batu bara tersebut. Kurva yang didapat dari korelasi antara HV dengan Ash Content adalah kurva berbanding terbalik yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *Heating Value* suatu batubara maka akan semakin kecil

kadar abu yang terkandung didalam batu bara tersebut. Kurva yang didapat dari korelasi antara HV dengan Fixed Carbon adalah kurva berbanding lurus yang dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai *Heating Value* suatu batubara batubara semua jenis baik HCV, LCV maupun MCV maka akan semakin besar pula carbon tetap yang terkandung didalam batu bara tersebut.

Tidak ada pengaruh signifikan dengan penambahan nilai *heating value* terhadap acid dan sulfur karena semakin besar nilai *heating value* yang didapat, nilai acid untuk sampel batubara B dengan rata-rata 22,40% dan namun untuk nilai sulfur relative tetap khususnya untuk sampel batubara golongan LCVE dan LCVF. Tidak adanya pengaruh yang begitu signifikan antar penambahan nilai *heating value* terhadap acid dan sulfur pun terjadi pada semua jenis batubara yaitu: HCV (High Caloricific Value), MCV (Medium Caloricific Value) dan LCV (Low Caloricific Value). Nilai acid dan sulfur yang didapat dari hasil penelitian tidak begitu berpengaruh terhadap nilai Heating Value.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk., unit operasi Citeureup - Bogor yang berlokasi di Jalan Mayor Oking JayaAtmaja Kecamatan Citeureup Kabupaten Bogor. Penelitian ini dilakukan selama tiga bulan di Laboratorium Batubara - QARD PT. Indocement Tunggul Prakarsa, Tbk. dimana percobaan laboratorium telah dilakukan.

DAFTAR NOTASI

HV	= Heating Value (kcal/kg)
RM	= Residual Moisture (%)
VM	= Volatile Matter (%)
FC	= Fixed Carbon (%)
HCV	= High Caloricific Value
MCV	= Medium Caloricific Value
LCV	= Low Caloricific Value
ADB	= Air-Dried Basis
DB	= Dry-basis
ARB	= As-Received Basis
HGI	= Hardgrove Grindability Index

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. A. Fajarwati and P. Lepong, "Analisis Proksimat dan Ultimat Terhadap Total Sulfur dan Nilai Kalori pada Batubara (PT Geoservices Samarinda)," *J. Geosains Kutai Basin*, vol. 6, no. 2, 2023.
- [2] A. Aulia, F. Farid, and W. Zahar, "Korelasi Parameter Analisis Proksimat dan Analisis Ultimat terhadap Nilai Kalori Batubara," vol. 2, no. 1, pp. 21–30, 2021, doi: 10.31764/jpl.v2i1.4715.
- [3] A. K. Majumder, R. Jain, P. Banerjee, and J. P. Barnwal, "Development of a new proximate analysis based correlation to predict calorific value of coal," *Fuel*, vol. 87, no. 13–14, pp. 3077–3081, 2008, doi: 10.1016/j.fuel.2008.04.008.
- [4] Republik Indonesia, "PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA NOMOR 45 TAHUN 2003 TENTANG TARIF ATAS JENIS PENERIMAAN NEGARA BUKAN PAJAK YANG BERLAKU PADA DEPARTEMEN ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL." 2003.

- [5] Republik Indonesia, “Kepmen ESDM No. 77.K-MB.01-MEM.B-2022 TENTANG KEBIJAKAN MINERAL DAN BATUBARA NASIONAL.” pp. 1–46, 2022.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 5015:2011. Pedoman Pelaporan, Sumberdaya, dan Cadangan Vatubara.” 2011.
- [7] M. Riasetiawan *et al.*, “Coal rank data analytic for ASTM and PSDBMP classification,” *Int. J. Innov. Res. Sci. Stud.*, vol. 6, no. 2, pp. 374–380, 2023, doi: 10.53894/ijirss.v6i2.1469.
- [8] J. G. Speight, *Handbook of coal analysis – 2nd edition. Published by John Wiley & Sons, Inc. ISBN 978-1-118-36924-1.* Published by John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [9] K. Alper, S. Ucar, K. Tekin, and S. Karagoz, “Sulfonic Acid-Catalyzed Biocoal Production from Lignocellulosic Biomass,” *Energy Fuels*, vol. 38, no. 4, pp. 8817–8828, 2024, doi: 10.1021/acs.energyfuels.4c00862.
- [10] S. A. Channiwala and P. P. Parikh, “A unified correlation for estimating HHV of solid , liquid and gaseous fuels,” *Fuel*, vol. 81, no. 81, pp. 1051–1063, 2002.
- [11] P. Taylor, J. P. Barrett, and J. P. Barrett, “The Coefficient of Determination—Some Limitations,” *Am. Stat.*, vol. 28, no. 1, pp. 19–20, 2012, doi: 10.1080/00031305.1974.10479056.
- [12] M. Khandelwal and T. N. Singh, “Prediction of macerals contents of Indian coals from proximate and ultimate analyses using artificial neural networks,” *Fuel*, vol. 89, no. 5, pp. 1101–1109, 2010, doi: 10.1016/j.fuel.2009.11.028.
- [13] S. Yerel and T. Ersen, “Prediction of the calorific value of coal deposit using linear regression analysis,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 35, no. 10, pp. 976–980, 2013, doi: 10.1080/15567036.2010.514595.
- [14] S. C. Chelgani, S. S. Matin, and S. Makaremi, “Modeling of free swelling index based on variable importance measurements of parent coal properties by random forest method,” *Measurement*, vol. 94, pp. 416–422, 2016, doi: 10.1016/j.measurement.2016.07.070.
- [15] C. J. Donahue and E. A. Rais, “Proximate Analysis of Coal,” *J. Chem. Educ.*, vol. 86, no. 2, pp. 85–87, 2009, [Online]. Available: www.JCE.DivCHED.org
- [16] A. R. ; Y. C. R. A. R. Septiana, “Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Prekursor Batubara,” *Indones. Phys. Rev.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–15, 2022.