

ANALYSIS OF THEORETICAL CALORIC VALUES FROM VARIOUS MIXTURES OF ROBUSTA AND ARABICA SPENT COFFEE GROUNDS BRIQUETTES

Bernardus Crisanto Putra Mbulu¹, Michael Novianto²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Widya Karya-Malang-Jawa Timur

Email: chris_bernardo666@widyakarya.ac.id, 201731006@widyakarya.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:
6 Mei 2024

Naskah Disetujui:
31 Mei 2024

Naskah Diterbitkan:
30 Juni 2024

ABSTRACT

Coffee grounds are waste produced from making coffee drinks, most of which are produced by coffee shops and usually this waste is just thrown away. Careless disposal of coffee grounds waste will certainly cause environmental damage, therefore one of the uses of coffee grounds waste in this research is as briquettes. The main ingredients used are robusta and arabica coffee grounds with mixed variations using the composition of 60% robusta, 40% arabica, 50% robusta 50% arabica and 40% arabica 60% robusta. The theoretical heating value calculation method is carried out through the results of heating water using a variety of briquettes, while the actual heating value is obtained from the results of the bomb calorimeter test. From the calculation and testing results, it was found that the theoretical heating value was identical to the test results, where the highest heating value was obtained in briquettes of the 40% Arabica 60% Robusta variation, amounting to 4919.835 cal/g for theoretical calculations and 4526.85 cal/g for bomb calorimeter test results. The theoretical calculation error rate for each comparative variation is 13.07% for the 60% Arabica 40% Robusta variation, 7.97% for the 50% Arabica 50% Robusta variation, and 8.68% for the 60% Arabica 40% Robusta variation.

Keywords: *Coffee grounds, Calorific Value, Bomb Calorimeter, Error Rate.*

PENDAHULUAN

Begitu pesatnya perkembangan kedai kopi di Indonesia saat ini merupakan salah satu wujud peningkatan ekonomi bangsa, namun dibalik kesuksesan tersebut ada permasalahan baru yang perlu kita pikirkan bersama yaitu limbah ampas kopi yang diproduksi. Masih sedikit pemanfaatan ampas kopi yang telah dilakukan, dan sebagian besar limbah tersebut dibuang secara sembarang [1]. Pembuangan ampas kopi secara sembarang tersebut pastinya dapat menyebabkan kerusakan lingkungan, misalnya dibuang diselokan atau aliran air selain menyebabkan penyumbatan juga akan menyebabkan penurunan tingkat oksigen dalam air karena ampas kopi memiliki toksisitas yang tinggi. Limbah yang tersumbat akan mendukung pertumbuhan bakteri dan mengancam kesehatan serta menghasilkan bau busuk yang disebabkan oleh bahan kimia beracun yang terkandung dalam ampas kopi seperti tanin, fenolat, dan alkaloid [2]. Oleh karena itu pemanfaatan limbah ampas kopi menjadi produk yang memiliki nilai tambah sangat diperlukan saat ini, salah satunya

adalah membuat ampas kopi menjadi briket. Produksi briket skala kecil dapat dilakukan oleh masyarakat menengah ke bawah, karena selain mudah dibuat juga sangat bermanfaat untuk dijual atau menjadi sumber bahan bakar pengganti bahan bakar kayu, gas maupun cair. Kualitas briket yang baik salah satunya dilihat dari nilai kalor yang dihasilkan, dimana satandar SNI No.1/6235/2000 untuk nilai kalor terendah yaitu 5000 (cal/g) [3].

Untuk mengetahui nilai kalor biasanya menggunakan alat uji Kalorimeter contohnya bomb calorimeter, atau dari perhitungan kandungan C, N, O, P, Mg, Ca and S yang didapatkan melalui hasil uji SEM (Scanning electron microscope). Briket biasanya dipilih dari bahan dasar yang memiliki kandungan karbon tinggi, sehingga diharapkan akan mempunyai nilai kalor tinggi [4]. Selain nilai kalor faktor yang berpengaruh lainnya adalah kadar abu, temperatur pembakaran yang dihasilkan serta lama waktu pembakaran [5]. Semakin lama waktu pembakaran disertai tingginya temperatur yang dihasilkan, pastinya

akan menghemat waktu dan bahan bakar briket yang digunakan sekaligus berpengaruh terhadap peningkatan ekonomi [6].

Proses pembuatan briket ampas kopi robusta-arabika dalam penelitian ini, melalui beberapa tahap diantaranya:

1. Satu per satu ampas kopi robusta dan arabika dimasukkan ke dalam dapur tinggi, untuk dilakukan proses pengarangan dengan temperatur 250°C;
2. Ampas kopi robusta dan arabika yang sudah diarangkan selanjutnya ditumbuk halus, untuk mendapatkan ukuran butiran yang lebih kecil;
3. Ampas kopi robusta dan arabika selanjutnya melalui proses pengayakan menggunakan mesh 30, agar mendapatkan serbuk ampas kopi dengan ukuran yang sama;
4. Semua bahan pada spesimen ditimbang dan ditakar menggunakan timbangan digital sesuai dengan komposisi atau variasi yang telah/ditentukan;
5. Proses pencetakan dengan pemberian beban tekanan 4 kg;
6. Proses pengeringan briket dalam oven, dengan temperatur 60°C selama 2 jam.

Penelitian ini bertujuan untuk nilai kalor dengan metode sederhana melalui pendekatan perhitungan teoritis terhadap hasil uji alat bomb calorimeter dari briket ampas kopi variasi campuran robusta dan arabika, agar menjadi produk yang bermanfaat daripada dibuang secara sembarang. Adapun cara pengambilan data dan perhitungan yang digunakan antara lain:

1. Lama Waktu dan Temperatur Pembakaran

Lama waktu pembakaran briket dilakukan dengan menyamakan lama waktu terendah dari awal pembakaran hingga briket mati yang dihasilkan oleh salah satu variasi briket, dimana untuk mengetahui lama waktu pembakaran diukur menggunakan *stopwatch* sedangkan temperatur yang dihasilkan menggunakan bantuan alat ukur *thermocouple tipe-K* yang dihubungkan dengan *thermocontol* [7].

2. Nilai Kalor Teoritis

Perhitungan kalor teoritis dilakukan melalui metode pendekatan perhitungan data yang didapatkan dari pemanasan air [8], dan selanjutnya akan dikomparasi dengan hasil data pengujian dari alat bomb calorimeter. Persamaan-persamaan sebagai dasar dalam perhitungan nilai kalor teoritis, terdiri atas:

- a. Interpolasi

$$\frac{T_2 - T}{T_2 - T_1} = \frac{cp_2 - cp}{cp_2 - cp_1} \tag{1}$$

Di mana:

T = Temperatur pemanasan air tertinggi (°C)

T_1 = Nilai Temperatur di bawah T (°C)

T_2 = Nilai Temperatur di atas T (°C)

cp = Nilai kalor jenis yang dicari [J/(kg.K)]

cp_1 = Nilai kalor jenis di bawah atau pada T_1 [J/(kg.K)]

cp_2 = Nilai kalor jenis di atas atau pada T_2 [J/(kg.K)]

Catatan: data menggunakan tabel *appendix* dalam fasa *Vapor*

b. Energi Kalor

Kalor merupakan suatu energi yang dapat berpindah dari benda yang bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur rendah ketika keduanya bersentuhan, sedangkan nilai kalor adalah jumlah temperatur panas maksimum yang dilepaskan oleh suatu bahan bakar melalui reaksi pembakaran sempurna per satuan massa atau volume bahan bakar. Persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kalor [9].

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T \tag{2}$$

Di mana:

Q = Energi kalor (J)

m = Massa air yang dipanaskan (0,05kg)

cp = Kalor jenis pada saat menguap/*vapor* [J/(kg.K)]

ΔT = Rata-rata kenaikan temperatur air hingga menguap atau batas maksimum (°C)

Konversi 4,186 joule = 1 cal

Konversi 0°C = 273,15 K

c. Kalor teoritis

Jika kalor dipergunakan untuk setiap 1 gram massa briket yang terbakar, maka nilai kalor jenis dapat ditulis dalam persamaan menjadi [10]:

$$HHV_T = \frac{Q \cdot P}{m_b} \tag{3}$$

Di mana:

Q = Energi kalor (J)

P = Persentase massa briket terbakar (%)

m_b = Massa briket terbakar [1 gram]

HHV_T = Nilai kalor teoritis (cal/g)

d. Tingkat kesalahan

Tingkat kesalahan atau nilai *error* merupakan tingkat perbedaan dari nilai kalor teoritis terhadap hasil uji *bomb calorimeter*, dimana persamaan yang digunakan adalah [11].

$$E = \frac{HHV_T - HHV}{HHV} \tag{4}$$

Di mana:

E = Tingkat kesalahan (%)

HHV_T = Nilai kalor dari perhitungan teoritis (cal/g)

HHV = Nilai kalor dari *bomb calorimeter* (cal/g)

METODE PENELITIAN

Rancangan penelitian

Ampas kopi sebelum digunakan arangkan terlebih dahulu pada mesin tungku bakar, dan selanjutnya ditumbuk serta di ayak untuk mendapatkan ukuran butiran yang seragam. Komposisi variasi campuran ampas kopi yang digunakan sebagai briket dalam penelitian ini yaitu robusta 60% arabika 40%, robusta 50% arabika 50% serta robusta 40% arabika 60%, dengan perekat yang terbuat dari tepung tapioka.

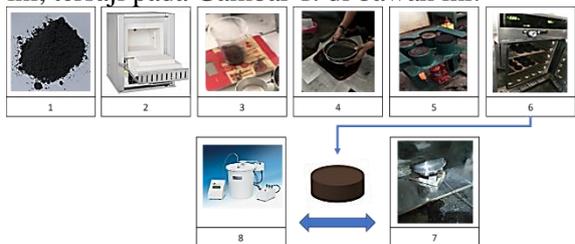
Bahan dan Alat

Adapun massa dari masing-masing variasi perbandingan tersaji pada Tabel 1. di bawah ini:

Tabel 1. Jumlah massa variasi campuran dalam setiap briket

Variasi (%)	Robusta (gram)	Arabika (gram)	Perekat (gram)
robusta 60% arabika 40%	13,8	9,2	14
robusta 50% arabika 50%	11,5	11,5	14
robusta 40% arabika 60%	9,2	13,8	14

Adapun alat uji yang digunakan dalam penelitian ini, tersaji pada Gambar 1. di bawah ini:



Gambar 1. Proses pembuatan Briket dan Alat Yang Digunakan

Keterangan:

1. Ampas kopi
2. Tungku bakar Nabertherm kapasitas 5 Liter
3. Timbangan digital
4. Ayakan *Mesh* 30
5. Alat Pencetak Briket
6. Oven Pengering Briket
7. Uji Pembakaran Briket
8. Uji *Bomb Calorimeter*

Variabel Penelitian

Penentuan variabel penelitian ini, terbagi atas:

- Variabel Bebas: Arang ampas kopi Robusta dan Arabika;
- Variabel Terikat: Jumlah variasi campuran;
- Variabel Terkontrol: Pencatatan waktu kenaikan temperatur.

Teknik Pengambilan Data

Ampas kopi robusta dan arabika (1) masing-masing di arangkan menggunakan tungku bakar (2) dengan temperatur pemanasan 250°C dan lama waktu penahanan selama 1 jam. Masing-masing arang ampas kopi selanjutnya ditumbuk, dan di ayak (4) agar didapatkan ukuran butiran yang sama. Hasil masing-masing ayakan selanjutnya di timbang sesuai dengan variasi yang sudah ditentukan, dan dicampur dengan perekat sebanyak 14g untuk setiap adonan briketnya. Setelah adonan sudah menyatu, selanjutnya dicetak dengan memberikan pembebanan sebesar 4 kg (5). Untuk sampel yang dibuat, yaitu sebanyak 5 sampel setiap masing-masing variasi campuran. Hasil cetakan yang sudah jadi ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui massa awal sebelum dibakar, dan selanjutnya dikeringkan di dalam oven (6) dengan temperatur 60°C selama 2 jam. Briket yang sudah jadi selanjutnya dilakukan pengujian temperatur menggunakan termokopel tipe K dan lama waktu menggunakan stopwatch (7), dengan cara briket dibakar hingga mati. Pengujian lainnya, adalah pengujian nilai kalor dengan menggunakan alat *bomb calorimeter* (8). Data yang sudah didapatkan, selanjutnya diolah dan dilakukan pembahasan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil pembakaran briket hingga mati didapatkan waktu terendah adalah 20 menit, oleh karena itu untuk tiap variasi akan diambil waktu yang sama dan penyajiannya akan ditampilkan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1. Rata-rata Waktu dan Temperatur Pembakaran Briket Tiap Variasi

Waktu (menit)	Rata-rata Temperatur (°C)				
	60 R 40 A	50 R 50 A	40 R 60 A	100 R	100 A
1	50	47	56	62	59
2	52	79	72	77	74
3	54	83	88	81	81
4	56	87	101	84	86
5	60	90	109	87	90
6	64	93	113	92	95
7	66	96	115	96	110

8	70	105	117	102	123
9	74	107	120	106	135
10	78	112	127	110	144
11	82	117	134	117	154
12	87	119	140	120	163
13	91	124	147	126	174
14	97	128	151	132	182
15	107	132	157	138	186
16	116	137	160	142	184
17	126	145	167	150	192
18	134	150	175	154	204
19	140	155	181	160	220
20	145	167	185	164	225
Rata-rata	87,75	113,63	130,68	114,70	144,05

Tabel 2. Hasil Interpolasi Temperatur Pemanasan Air

Variasi Perbandingan	Waktu Pemanasan	Temperatur pemanasan tertinggi	Rata-rata kenaikan Temperatur	Nilai Tabel Appendix		Nilai Interpolasi (cp)	Persentase massa briket terbakar (P)
				Temperatur air	Specific Heat Vapor		
	Menit	°C	°C	°C	J/kg.K	J/kg.K	%
60 R 40 A	20	76	2,2	75	1948	1950,8	0,5
				80	1962		
50 R 50 A		72	1,9	70	1936	1940,8	
				75	1948		
40 R 60 A		89	2,85	85	1977	1989,8	
				90	1993		

Contoh perhitungan pada variasi 60 R 40 A:

$$Q = m \cdot cp \cdot \Delta T$$

$$= 0,05 \text{ kg} \times 1950,8 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \times (2,2 + 273,15)\text{K}$$

$$\times \frac{1 \text{ cal}}{4,186 \text{ J}}$$

$$Q = 6416,063 \text{ cal}$$

$$HHV_T = \frac{Q \cdot P}{m_b}$$

$$HHV_T = \frac{6416,063 \text{ cal} \cdot 0,5}{1 \text{ gram}}$$

$$HHV_T = 3208,031 \text{ cal/gram}$$

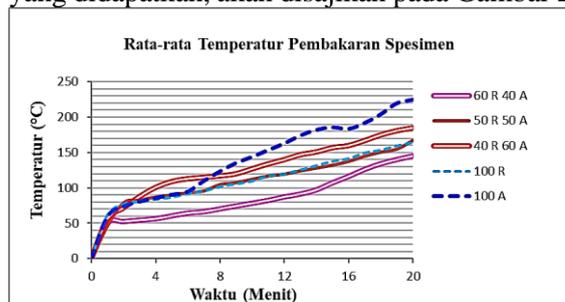
Tabel 3. Nilai Kalor Teoritis, Bomb Calorimeter dan Tingkat Kesalahan

Variasi Perbandingan	HHV _T	HHV	E
	(cal/gram)	(cal/gram)	(%)
60 R 40 A	3208,031	2837,1	13,07
50 R 50 A	4113,690	3810	7,97
40 R 60 A	4919,835	4526,85	8,68

Pembahasan

1. Pengujian Lama Pembakaran dan Temperatur Pembakaran

Hasil pengujian lama dan temperatur pembakaran briket dari masing-masing variasi yang didapatkan, akan disajikan pada Gambar 2.



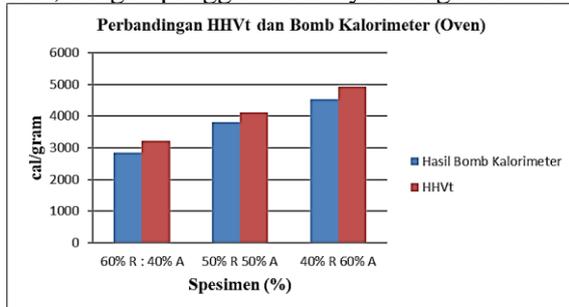
Gambar 2. Grafik Waktu dan Temperatur Pembakaran Briket

Dari Gambar 2. rata-rata pembakaran setiap spesimen variasi campuran ampas kopi robusta : ampas kopi arabika, Temperatur tertinggi dihasilkan oleh pembakaran briket murni arabika 100% dengan rata-rata sebesar 144.05°C, serta variasi 40 R 60A dengan temperatur rata-rata sebesar 130.68°C. Untuk 100% Robusta murni dihasilkan temperatur rata-rata sebesar 114.70°C, serta variasi 60 R 40 A sebesar dengan temperatur rata-rata sebesar 87,78°C. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa ampas kopi arabika berpengaruh terhadap peningkatan temperatur pembakaran yang dihasilkan, di mana hal ini di dukung dari kandungan karbon yang dimiliki oleh ampas kopi arabika lebih besar daripada yang dimiliki oleh ampas kopi robusta [12]. Pengaruh temperatur yang dihasilkan ini pastinya akan berimbas pada kualitas briket yang dihasilkan, serta kuantitas briket yang dibutuhkan dalam suatu proses.

Mengacu pada hasil di atas, peningkatan temperatur pemanasan yang dihasilkan dapat dilakukan melalui pemilihan ukuran partikel yang lebih kecil lagi serta penambahan beban penekanan. Dalam penelitian ini ukuran ayakan untuk butiran partikel adalah mesh 30, dimana ukuran tersebut masih bisa di perkecil lagi dengan menggunakan ayakan mesh 100 maupun mesh 250. Sedangkan beban penekanan yang diberikan adalah 4 kg, yang dapat ditingkatkan lagi menjadi 5 atau 6 kg. Peningkatan ini didasarkan dari penelitian lain yang menggunakan variasi ukuran butiran dan beban penekanan, dimana semakin kecil ukuran butiran dan semakin besar beban penekanan yang diberikan pada briket yang dibuat akan meningkatkan temperatur dan nilai kalor yang dihasilkan [13].

2. Perbandingan Nilai Kesalahan dari Perhitungan Nilai Kalor Teoritis dan Pengujian Bomb Calorimeter

Data nilai kalor yang didapatkan dari alat uji *bomb calorimeter* selanjutnya dibandingkan agar dapat diketahui nilai tingkat kesalahan (E), dimana perbandingan tersebut dilakukan melalui perbandingan hasil perhitungan nilai kalor teoritis (HHV_T) terhadap nilai kalor *bomb calorimeter* (HHV). Adapun hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 3. di atas, dengan penggambarannya sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai teoritis dan Bomb Calorimeter

Dari Gambar 3. dapat di lihat perhitungan teoritis menghasilkan nilai kalor tertinggi pada variasi perbandingan 40% robusta 60% arabika yaitu 4919,835 cal/g, sedangkan hasil uji *bomb calorimeter* adalah sebesar 4526,85 cal/g sehingga didapatkan nilai tingkat kesalahan 13,07%. Untuk nilai kalor tertinggi pada variasi perbandingan 50% robusta 50% arabika yaitu 4113,690 cal/g, sedangkan hasil uji *bomb calorimeter* adalah sebesar 3810 cal/g sehingga mendapatkan nilai tingkat kesalahan sebesar 7,97%. Sedangkan nilai kalor tertinggi pada variasi perbandingan 60% robusta 40% arabika yaitu 3208,031 cal/g, sedangkan hasil uji *bomb calorimeter* adalah sebesar 2837,1 cal/g sehingga mendapatkan nilai tingkat kesalahan sebesar 8,68%.

Hasil perhitungan teoritis maupun uji melalui *bomb calorimeter* di atas menunjukkan peningkatan yang identik, sehingga metode yang digunakan untuk perhitungan nilai kalor teoritis dapat digunakan. Sedangkan untuk perbedaan hasil persentase tingkat kesalahan yang berbeda, masih dapat ditoleransi karena dibawah 20% dimana dapat ditunjukkan melalui hasil perhitungan tingkat kesalahan penelitian sebelumnya [14].

Untuk nilai kalor yang dihasilkan baik melalui perhitungan teoritis maupun uji *bomb calorimeter*, masih belum memenuhi

standar SNI 5000 cal/g yang ditetapkan oleh pemerintah. Akan tetapi hasil penelitian yang didapatkan hampir mendekati yang distandarkan, sehingga dengan pengaturan dan variasi baik ukuran partikel maupun beban penekanan diharapkan akan didapatkan nilai kalor yang distandarkan. Inti dari penelitian ini adalah bahwa ampas kopi yang dibuang sembarang, ternyata masih bisa digunakan menjadi sesuatu yang bermanfaat dan memiliki nilai lebih.

SIMPULAN

Mengacu pada hasil penelitian dan pengujian briket dengan variasi pengurangan dan ukuran partikel, dapat disimpulkan bahwa:

1. Temperatur pembakaran terbaik didapatkan oleh variasi briket yang memiliki kandungan ampas kopi jenis arabika lebih banyak, dimana pada temperatur rata-rata dari 100% murni ampas kopi arabika adalah 144,05°C dan 40% robusta 60% arabika adalah sebesar 130,68°C. Hal ini selain menunjukkan bahwa pemanfaatan ampas kopi menjadi briket ternyata dapat dilakukan, juga mengurangi dampak lingkungan akibat ampas kopi yang dibuang sembarang.
2. Nilai kalor yang dihasilkan baik dari perhitungan teoritis (HHV_T) maupun hasil uji *bomb calorimeter* (HHV), dimana menunjukkan hasil yang identik atau bisa dikatakan sama. Untuk nilai kalor tertinggi tertinggi dihasilkan dari variasi 40% robusta 60% arabika yaitu 4919,835 cal/g untuk perhitungan teoritis dan 4526,85 cal/g untuk hasil uji *bomb calorimeter*.

REFERENSI

- [1] B. C. P. Mbulu, "Pengaruh Penambahan Ampas Kopi paa Biogas terhadap Hasil serta Laju Produksi Metana dan Karbon Dioksida," in *Prosiding Seminar Nasional Reset dan Teknologi Terapan (RITEKTRA) 2021*, 2021.
- [2] R. Suhariyanto, E. Purwanti, D. Setyawan, F. H. Permana, and A. Fauzi, "Kemampuan absorben arang aktif ampas kopi dalam mengurangi kadar limbah industri laundry," *Pros. Semin. Nas. V*, pp. 234–251, 2019.
- [3] L. Defianti, "Analisis Briket Limbah Tempurung Kelapa Dan Minyak Tanah Ditinjau Dari Nilai Kalori Dan

- Keekonomisan Di Kecamatan Sipora Utara Kabupaten Kepulauan Mentawai,” Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang, 2016.
- [4] N. Arifin and R. Noor, “Pengaruh Komposisi Campuran Briket Arang Alang-alang (*Imperata Cylindrica*) untuk Meningkatkan Nilai Kalor. Nurul Arifin dan Rijali Noor,” *J. Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 2, pp. 61–72, 2016.
- [5] A. A. Wijaya AK, N. L. Yulianti, and I. B. Putu Gunadnya, “Karakteristik Briket Biomassa dari Variasi Bahan Baku dan Persentase Perekat yang Berbeda,” *J. BETA (Biosistem dan Tek. Pertanian)*, vol. 9, no. 2, p. 202, 2021, doi: 10.24843/jbeta.2021.v09.i02.p07.
- [6] N. Fitri, “Pembuatan Briket dari Campuran Kulit Kopi (*Coffea Arabica*) dan Serbuk Gergaji dengan Menggunakan Getah Pinus (*Pinus Merkusii*) sebagai Perekat,” UIN Alauddin Makassar, 2017.
- [7] M. A. Tahir, “Pengaruh Variasi Komposisi dan Ukuran Partikel terhadap Karakteristik Briket Kombinasi Arang Tempurung Kelapa dengan Arang Bambu,” UIN Aluiddin Makassar, 2019.
- [8] N. Binti Mohd Rani, “the Production of Briquette From Coffee Waste Prepared By,” 2014.
- [9] P. R. Sasmita, *Modul Fisik Suhu, Kalor dan Perpindahan Kalor*. 2015. [Online]. Available: <http://danaseknginden1.blogspot.com/>
- [10] E. Elfiano, P. Subekti, and A. Sadil, “Analisa Proksimat dan Nilai Kalor pada Briket Bioarang Limbah Ampas Tebu dan Arang Kayu,” *J. Aptek*, vol. 6, no. 1, pp. 57–64, 2014.
- [11] S. Widiyanto, “Analisa Nilai Kalor Pengujian Bahan Bakar Biomassa terhadap Korelasi HHV (High Heating Value),” Skripsi, 2017.
- [12] V. Bejenari *et al.*, “Physicochemical characterization and energy recovery of spent coffee grounds,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 15, pp. 4437–4451, 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.10.064.
- [13] E. I. Briyatendra and W. Widayat, “Pengaruh Ukuran Partikel dan Tekanan Kompaksi Terhadap Karakteristik Briket Kayu Jati,” *J. Inov. Mesin*, vol. 1, no. 2, pp. 14–22, 2019.
- [14] S. Widiyanto, “Analisis Nilai Kalor Pengujian Bahan Bakar Biomassa Terhadap Korelasi HHV (High Heating Value),” *Jur. Tek. Mesin Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2017, [Online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/148617279.pdf>