

# THE EFFECT OF VARIATIONS IN INITIAL HEATING TEMPERATURE AND MESH SIZE ON THE HARDNESS VALUE AND CALORIFICATION VALUE OF CANDLECRON SHELL BRIQUETTE

Manuel Fortunato .D.C.T<sup>1</sup>, Bernardus Crisanto Putra Mbulu<sup>2</sup>, Danang Murdiyanto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Widya Karya-Malang-Jawa Timur

Email: sayaklayatan@gmail.com, chris\_bernardo666@widyakarya.ac.id, danang\_t.mesin@widyakarya.ac.id

## INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima:

13 Mei 2026

Naskah Disetujui:

23 Mei 2026

Naskah Diterbitkan:

30 Juni 2026

## ABSTRACT

*One of the promising renewable energy sources is biomass, particularly underutilized candlenut shells, which can be processed into briquettes as a superior alternative to charcoal. This study aimed to utilize candlenut shell waste for briquette production, evaluating hardness and calorific value under varying carbonization temperatures (400°C, 500°C, 600°C) and mesh sizes (30 and 100). Briquettes were produced via carbonization and compression. Hardness was measured using a durometer, yielding the highest value of 76.33 HA at 600°C and 100 mesh, and the lowest of 43.58 HA at 400°C and 30 mesh. Calorific value, determined by bomb calorimetry, peaked at 7834.70 cal/g for 500°C and 30 mesh, while the lowest was 5085.24 cal/g at 500°C and 100 mesh. These results demonstrate that optimized carbonization and particle size enhance briquette quality, promoting sustainable biomass utilization for energy applications.*

**Keywords:** *Candlenut Shells, Biomass Briquettes, Carbonization Temperature, Hardness Value, Calorific Value*

## PENDAHULUAN

Pengembangan sumber energi terbarukan kini menjadi salah satu alternatif pengganti bahan bakar fosil yang kini telah banyak dilakukan diberbagai tempat. Salah satu sumber energi terbarukan yang saat ini banyak perkembangannya adalah biomassa. Biomassa meliputi limbah kayu, limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah kehutan, komponen organik dari industri dan rumah tangga. Salah satu jenis bahan baku biomassa adalah cangkang buah kemiri. Limbah yang dihasilkan dari proses pemecahan biji kemiri berupa cangkang kemiri selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, padahal apabila diolah kembali akan menjadi lebih bermanfaat seperti untuk pembuatan produk briket [1].

Briket adalah bahan bakar alternatif sebagai pengganti dari arang yang penggunaannya lebih baik daripada arang. Briket dengan kualitas baik memerlukan komposisi yang tepat sehingga panas yang dihasilkan baik dan sesuai dengan kebutuhan. Masalah utama dalam pembuatan briket adalah menentukan jumlah komposisi yang tepat sehingga nilai kalor yang dihasilkan briket semakin tinggi dan penggunaannya semakin meningkat [2].

Oleh karena itu, peneliti ingin memanfaatkan limbah cangkang kemiri untuk membuat briket dengan campuran perekat dari tepung tapioka. Untuk mengetahui jumlah komposisi yang tepat, maka peneliti melakukan variasi pada temperatur pembakaran dan ukuran mesh.

### Kemiri

Kemiri mempunyai cangkang yang teksturnya keras dan kaku dan juga dapat digunakan sebagai bahan bakar (Krisnawati, H., et al .2011). Seperti yang terlihat pada tabel 2.1, Cangkang kemiri mempunyai unsur sebagai berikut C : 47% ; H : 5,81% ; O : 46,51% dan N : 0,16. Unsur C, H, dan O pada cangkang kemiri bisa meningkatkan nilai kalor bila dijadikan briket [3].

**Tabel 1.** Analisa Unsur Tempurung Kemiri

Unsur	Kemiri %	Kayu %	Biji Ceri %
C	47.52	46.16	51.08
H	5.81	5.77	6.49
N	0.16	0.80	0.38
S	-	-	0.02
O	46.51	37.87	42.3

**Karbonisasi**

Karbonisasi atau pengarangan adalah suatu proses untuk menambahkan nilai karbon dalam suatu bahan baku. Hasil karbonisasi adalah arang yang didalamnya banyak kandungan karbon. Prinsip proses karbonisasi adalah pembakaran bahan baku tanpa kehadiran oksigen. Sehingga yang terlepas hanya bagian zat terbang, sedangkan karbonnya tetap tinggal di dalamnya. Temperatur karbonisasi akan sangat memengaruhi arang yang dihasilkan sehingga penentuan temperatur pembakaran yang tepat akan menentukan kualitas arang yang dihasilkan [4].

**Perekat**

Perekat didefinisikan sebagai suatu zat dimana benda yang dapat menempel pada benda lain atau suatu zat yang dapat menempelkan beberapa benda menjadi satu dengan penyatuan permukaan.

Perekat dari tepung tapioka adalah contoh perekat yang sering digunakan dalam pembuatan briket. Perekat yang sering digunakan dalam pembuatan briket bisa dikelompokkan menjadi 2 jenis yaitu:

1. Perekat Organik

Perekat ini termasuk perekat yang efisien, dapat dijangkau, murah dan zat sisa yang dihasilkan cenderung sedikit. contoh dari perekat organik adalah tepung kanji.

2. Perekat Anorganik

Perekat yang dapat merekat kuat dan tahan lama. Perekat ini memiliki daya lekat yang tinggi dibandingkan dengan perekat organik, biaya yang dibutuhkan tidak murah dan zat sisa yang dihasilkan banyak dibandingkan perekat organik. Perekat anorganik seperti lem fox dan lem rajawali merupakan salah satu contoh perekat anorganik [5].

Ukuran butiran adalah ukuran dari material penyusun suatu benda yang setiap materialnya membentuk suatu ikatan tertentu. Ukuran butiran pada suatu briket haruslah serupa supaya memudahkan dalam proses pencetakan. Bahan baku yang telah menjadi arang kemudian dihancurkan atau diperhalus setelah itu disaring dengan menggunakan ukuran *mesh* yang mau dipakai[6].

**Briket**

Briket adalah bahan bakar padat yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan. Pembuatan briket bermaksud untuk memperoleh bahan bakar yang berkualitas dan

dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan [7].

Syarat mutu briket arang berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) disajikan pada Tabel 2. di bawah [8]:

Tabel 2. Syarat Mutu Briket Arang (SNI)

Sifat briket Arang	Satuan	SNI	(BPPK)
Kadar Air	%	Maks 8	7,57
Kadar zat mudah terbang	%	Maks 15	16,14
Kadar abu	%	Maks 8	5,51
Kadar karbon terikat	%	≥ 77%	78,35
Kerapatan	g/cm <sup>3</sup>	0,4 – 0,6	0,4407
Keteguhan tekan	g/cm <sup>2</sup>	≥ 25%	-
Nilai kalor	Cal/g	Min 5000	6814,11

**Bomb Calorimeter**

*Bomb Calorimeter* adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor (nilai kalori) yang dibebaskan pada pembakaran sempurna (dalam oksigen berlebih) suatu senyawa, bahan makanan, dan bahan bakar. Sejumlah sampel ditempatkan pada tabung beroksigen yang dimasukkan dalam medium penyerap kalor (kalorimeter), sampel tersebut dibakar oleh api listrik yang berasal dari kawat logam (pemanas) yang terpasang dalam tabung [9].

Kalor Jenis adalah kemampuan suatu benda untuk menyerap kalor. Semakin besar nilai kalor jenis dari suatu benda, maka semakin besar pula kemampuan benda tersebut untuk menyerap kalor. Untuk menghitung nilai kalor jenis dapat digunakan rumus sebagai berikut [10]:

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \cdot c_v \dots\dots\dots (1)$$

jika dihubungkan dengan hasil *bomb calorimeter* maka dapat ditulis :

$$HHV = (\Delta T) \cdot c_v \dots\dots\dots (2)$$

Sehingga untuk menghitung nilai kalor jenis dapat ditulis :

$$c_v = \frac{HHV}{\Delta T} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

HHV = Nilai kalor (cal/gr)

T<sub>1</sub> = Temperatur air sebelum dinyalakan (°C)

T<sub>2</sub> = Temperatur air sesudah dinyalakan (°C)

T<sub>kp</sub> = Temperatur kawat = 0,05 (°C)

c<sub>v</sub> = Kalor jenis (cal/gr°C)

Jika dalam hasil *bomb calorimeter* jumlah massa berbeda-beda, maka bisa disesuaikan dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{m_{\text{penyesuaian}}}{m_{\text{bomb}}} = \frac{HHV_{\text{bomb}}}{HHV_p} \dots\dots\dots(4)$$

$$HHV_p = \frac{m_{\text{penyesuaian}} * HHV_{\text{bomb}}}{m_{\text{bomb}}} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$m_{\text{penyesuaian}}$  = Massa briket dibuat 1 gram (gr)

$m_{\text{bomb}}$  = Massa briket *bomb calorimeter* (gr)

$HHV_{\text{bomb}}$  = Nilai kalor *bomb calorimeter* (cal/gr)

$HHV_p$  = Nilai Kalor Hasil penyesuaian (cal/gr)

**Kekerasan**

Untuk mengetahui nilai kekerasan suatu benda perlu adanya suatu pengujian . Pengujian kekerasan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu bahan terhadap pembebanan dalam perubahan yang tetap. Nilai tingkat kekerasan dari bahan dapat dianalisis melalui besarnya beban yang diberikan terhadap luas bidang yang menerima pembebanan tersebut. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekan penekanan tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya [11].

Durometer adalah instrumen yang menggunakan prinsip yang digunakan untuk mengukur kekerasan didasarkan pada mengukur kekuatan perlawanan dari penetrasi jarum ke dalam bahan uji. Durometer memiliki berbagai macam jenis skala, penggunaan skala berdasarkan jenis spesimen yang diuji dan tingkat kekerasan spesimen yang diuji. Skala durometer yang tersedia di laboratorium bahan adalah shore A, B dan D. Shore A digunakan untuk spesimen yang memiliki nilai kekerasan antara 20-90 seperti soft rubber, natural rubber sedangkan shore B dan shore D digunakan untuk spesimen dengan nilai kekerasan di atas 90. Pada penelitian ini shore yang digunakan adalah shore A karena spesimen yang diuji memiliki nilai kekerasan di bawah 90 [12].

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan kuantitatif. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan dalam kondisi yang dikendalikan. Penelitian Kuantitatif adalah upaya peneliti mencari informasi dengan menyuguhkan data dalam bentuk angka.

**Variabel Penelitian**

Penentuan variabel penelitian ini, terbagi atas:

1. Variabel tetap: Nilai kekerasan, nilai alor bomb calorimeter
2. Variabel bebas: Temperatur pembakaran (400°C, 500°C dan 600°C), ukuran mesh yang dipakai (mesh 30 dan mesh 100)

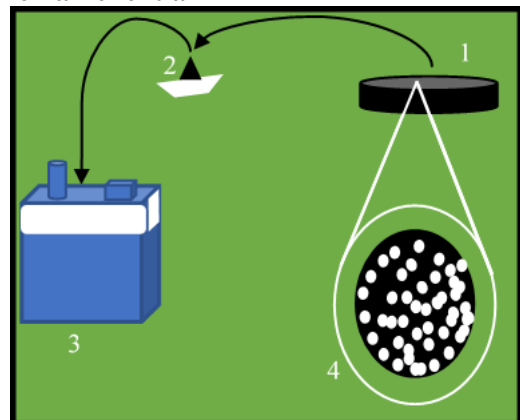
3. Variabel terkontrol: Tekanan saat mencetak briket(3 kg), temperatur dan lama proses pengeringan briket (70°C selama 3 jam).

**Deskripsi Penelitian**

Cangkang kemiri mengandung unsur karbon yang tinggi sekitar 47%, sehingga cangkang kemiri sangat baik untuk dijadikan briket. Cangkang kemiri diarangkan dengan variasi temperatur pembakaran supaya jumlah karbon (C) didalamnya meningkat. Semakin tinggi temperatur pembakaran akan meningkatkan jumlah karbon. Hal ini akan mempengaruhi nilai kekerasan yang didapatkan, Semakin banyak kandungan karbon maka nilai kekerasan juga akan meningkat.

Variasi ukuran mesh akan mempengaruhi kerapatan pada briket, serta mempengaruhi temperatur yang dihasilkan. Jika ukuran mesh semakin besar maka butiran arang yang dihasilkan semakin halus dan tidak ada jarak antar butiran serta membuat ikatan antar butiran semakin kuat pada saat proses pengepresan. Karena ikatan yang kuat inilah yang membuat briket memiliki kekerasan yang tinggi dan tetap menyala lama saat dinyalakan/diberi api serta bisa menaikkan nilai kalor sehingga nilai kekerasan dan nilai kalor yang didapat semakin tinggi. Apabila ukuran mesh semakin kecil, ukuran butiran yang dihasilkan akan semakin kasar sehingga saat dilakukan proses pengepresan akan ada jarak antar butirannya dan membuat ikatan antar butirannya lemah dikarenakan jarak tadi. Ikatan antar butiran yang lemah membuat kekerasan yang dimiliki briket akan melemah dan akan mudah mati saat dinyalakan/diberi api karena adanya jarak sehingga nilai kekerasan dan nilai kalor yang didapatkan akan rendah.

**Skema Penelitian**



Gambar 1. Skema Penelitian

Keterangan gambar:

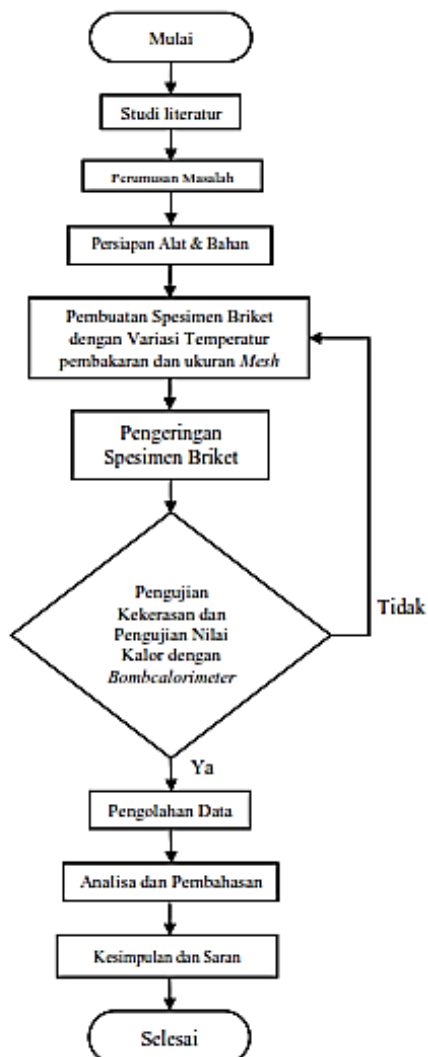
1. Briket jadi
2. Briket di potong kecil

3. Alat Uji Bomb Calorimeter
4. Titik-titik Uji kekerasan

**Proses Pengambilan Data**

Setelah melalui proses pembuatan sampel briket (1), kemudian briket diambil/dipotong kecil (2) sekitar 0,8 sampai 1 gram, kemudian diuji pada alat uji bomb calorimeter (3) untuk mencari nilai kalor. Untuk melakukan uji kekerasan, perlu diberi titik-titik uji kekerasan (4), agar pendistribusian tekanan saat pengujian kekerasan merata dan hasil pengujian kekerasan lebih akurat maka dibuat banyak titik pengujian, kemudian hasil pengujian dirata-rata.

**Diagram Alir Penelitian**



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Hasil**

Pengujian kekerasan menggunakan alat ukur kekerasan Durometer dengan 1 sampel diuji sebanyak 30 titik. Setelah mengukur semua sampel kemudian dicari nilai rata-rata dan dimasukkan dalam tabel, di bawah ini.

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Pengujian Kekerasan

Temperatur Pengarangan	Sampel	Nilai Kekerasan (HA)	
		Mesh 30	Mesh 100
400°C	1	43.58	60.78
500°C	2	51.27	67.02
600°C	3	53.33	76.33

Pada Tabel 3. menunjukkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh sampel ukuran *mesh* 100 dan temperatur pembakaran 600°C dengan nilai rata-rata 76,33 HA. Hal ini karena temperatur pembakaran yang tinggi akan meningkatkan jumlah karbon yang ada pada arang dan ukuran *mesh* yang semakin besar akan menghasilkan ukuran butiran arang menjadi halus, sehingga saat dicetak kerapatan antar butiran menjadi lebih kuat dan cela antar butiran semakin berkurang. Maka, nilai kekerasannya akan meningkat pada ukuran *mesh* dan temperatur pembakaran yang tinggi.

Mengacu pada persamaan (3), perhitungan untuk menghitung nilai  $c_v$  adalah sebagai berikut : Sampel briket yang dipakai dalam perhitungan ini menggunakan temperatur pembakaran 400°C dengan ukuran *mesh* 30.

$$c_v = \frac{5.655,67 \text{ (cal/gr)}}{2 \text{ (}^\circ\text{C)}}$$

$$c_v = 2827.84 \text{ (cal/gr}^\circ\text{C)}$$

Berdasarkan persamaan (5), maka perhitungan nilai  $HHV_p$  dapat dihitung sebagai berikut : Data yang dipakai untuk perhitungan ini dari sampel dengan temperatur pembakaran 400°C dan ukuran *mesh* 30.

$$HHV_p = \frac{1 \text{ (gr)} * 5655.67 \text{ (cal/gr)}}{0.9 \text{ (gr)}} = 6284.08 \left(\frac{\text{cal}}{\text{gr}}\right)$$

Untuk perhitungan sampel lainnya dapat dilihat pada tabel 4:

Tabel 4. Hasil Perhitungan Nilai Kalor Jenis ( $c_v$ )

Ukuran Mesh	Temperatur pembakaran °C	Nilai $c_v$ (cal/g °C)	Nilai $HHV_p$ (cal/g)
Mesh 30	400°C	2827.84	6284.08
	500°C	3067.36	7834.70
	600°C	2797.32	6363.14
Mesh 100	400°C	2954.96	5497.59
	500°C	2887.10	5085.24
	600°C	2925.43	6758.76

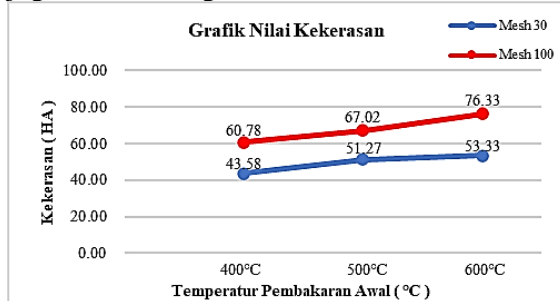
**Pembahasan**

Pembahasan data hasil pengujian pengujian adalah sebagai berikut :

1. Nilai kekerasan

Berdasarkan Gambar 1. di bawah, nilai terendah ada pada temperatur pembakaran 400°C dengan ukuran *mesh* 30 dengan nilai rata-rata

43,58 HA dan nilai tertinggi ada pada temperatur pembakaran 600°C dengan *mesh* 100 dengan nilai rata-rata 76,33 HA. Data ini menyimpulkan bahwa semakin besar ukuran *mesh* maka, kerapatan dalam briket akan semakin meningkat sehingga nilai kekerasan juga akan meningkat.



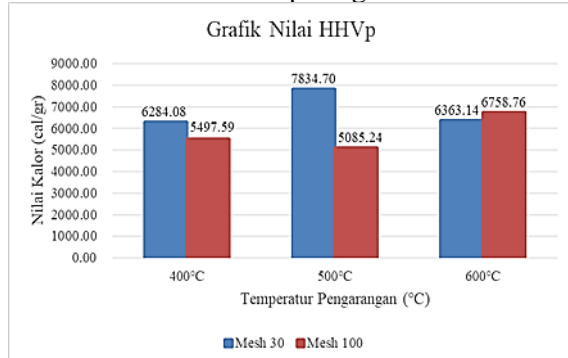
Gambar 1. Hasil Pengujian Kekerasan

Dari Gambar 1. di atas juga dapat disimpulkan, *mesh* yang mempunyai ukuran semakin kecil kekerasannya akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena ukuran *mesh* yang kecil menghasilkan ukuran butiran yang kasar dan rongga/jarak antara butiran semakin membesar sehingga ikatan antara butiran semakin merenggang dan mudah rontok apabila terkena tekanan.

Temperatur pembakaran awal juga memengaruhi nilai kekerasan, semakin tinggi temperatur pembakaran maka kandungan karbon didalam arang juga akan semakin banyak, semakin banyak kandungan akan meningkatkan nilai kekerasan pada briket. Hal ini menghasilkan kesimpulan bahwa pengaruh temperatur pembakaran dan ukuran *mesh* semakin besar akan meningkatkan nilai kekerasan.

2. Data Hasil Penyesuaian Nilai Kalor Bomb Calorimeter

Hasil dari perhitungan nilai kalor pada bomb calorimeter bias dilihat pada grafik di bawah ini



Gambar 2. Penyesuaian Nilai Kalor Pada Bomb Calorimeter

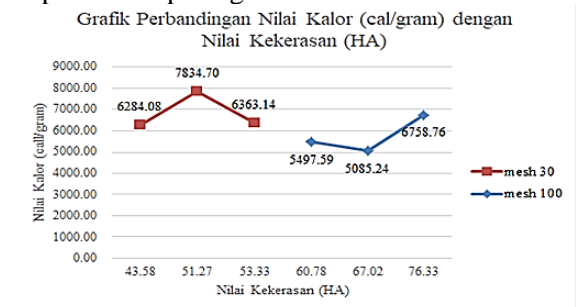
Pada Gambar 2. di atas bisa kita lihat nilai kalor tertinggi ada pada briket dengan temperatur pembakaran 500°C dan ukuran *mesh*

30 dengan nilai 7834.70 cal/gram sedangkan nilai terendah ada pada temperatur 500°C dan ukuran *mesh* 100 dengan nilai 5085.24 cal/gram.

Data ini menyimpulkan bahwa ukuran *mesh* 30 pada temperatur pembakaran 500°C menghasilkan nilai kalor yang tinggi namun pada kenyataannya, ukuran *mesh* 30 itu sangat sulit dinyalakan dan susah terbakar. Pada pengujian bomb calorimeter briket tidak dimasukan utuh melainkan dipotong sebagian kecil sekitar 0,83 gram sampai 0,91 gram maka dari itu harus disesuaikan terlebih dahulu massanya agar sama semua. Pada penelitian ini, peneliti menyesuaikan massa menjadi 1 gram semua agar mudah untuk dijadikan perbandingan.

Selain itu nilai kalor juga dipengaruhi oleh komposisi kimia, kadar air, dan kadar abu, serta kemungkinan pada mesh 30 nilai kalornya lebih tinggi dikarenakan kadar zat volatil yang masih membantu pembakaran, dan kadar abu yang belum terlalu besar. Jadi, naik-turunnya nilai kalor pada mesh berbeda masih wajar karena sifat ini tidak hanya ditentukan oleh ukuran partikel, tetapi juga oleh kualitas karbonisasi dan homogenitas bahan

3. Perbandingan Nilai Kalor dan Nilai Kekerasan Pembahasan nilai kalor dan nilai kekerasan dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



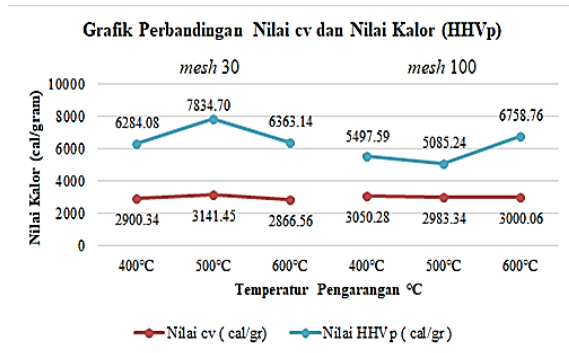
Gambar 3. Perbandingan Nilai Kalor dan Kekerasan

Dari Gambar 3. di atas, diperoleh data tertinggi perbandingan antara nilai kalor dan nilai kekerasan ada pada ukuran *mesh* 30 dan temperatur pembakaran 500°C dengan nilai kalor 7834,70 cal/gram dan nilai kekerasan 51,27 HA. Sedangkan nilai terendah pada perbandingan antara nilai kalor dan nilai kekerasan ada pada ukuran *mesh* 100 dan temperatur pembakaran 500°C dengan nilai kalor 5085,24 cal/gram dan nilai kekerasan 67,02. Meskipun nilai kalor dari *mesh* 30 dan temperatur pembakaran 500°C tinggi tetapi karena nilai kekerasannya rendah maka briket dengan nilai ini tidak dipakai. Karena bila briket dengan nilai kalor tinggi tetapi kekerasannya rendah maka briket tersebut tidak bisa bertahan lama karena mudah hancur bila terkena tekanan. Artinya, briket yang sangat padat belum tentu

memiliki nilai kalor paling tinggi, dan briket dengan nilai kalor tinggi belum tentu paling kuat secara fisik. Karena itu kualitas briket harus dinilai dari gabungan beberapa parameter, bukan dari satu nilai saja

4. Perbandingan Nilai  $c_v$  dan Nilai Kalor

Pembahasan perbandingan dari nilai  $c_v$  dan Nilai Kalor dapat dilihat pada grafik di bawah ini



Gambar 4. Perbandingan Nilai  $c_v$  dan Nilai Kalor

Dari Gambar 4. di atas dapat dilihat nilai tertinggi ada pada ukuran *mesh* 30 dan temperatur pembakaran 500°C dengan nilai kalor 7834,70 cal/gr dan nilai  $c_v$  3141,45 cal/gr°C. Nilai terendah ada pada ukuran *mesh* 100 dan temperatur pembakaran 500°C dengan nilai kalor 5085,24 cal/gr dan nilai  $c_v$  2983,34 cal/gr°C. Pada nilai tertinggi dan nilai terendah yang diperoleh pada Gambar 1. di atas sesuai dengan definisi perhitungan matematis kalor jenis ( $c_v$ ) yaitu semakin besar nilai kalor jenis ( $c_v$ ) maka akan semakin besar juga nilai kalor yang didapat, begitu pun sebaliknya. Hal ini menyimpulkan semakin besar nilai kalor jenis maka semakin besar pula nilai kalor yang diperoleh.

SIMPULAN

Berdasarkan pengamatan dan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, maka telah dicapai kesimpulan sebagai berikut:

1. Temperatur pembakaran dan ukuran mesh cenderung memengaruhi kekerasan briket. Berdasarkan hasil pengujian, kekerasan tertinggi diperoleh pada temperatur pembakaran 600°C dan ukuran mesh 100 dengan nilai 76,33 HA, sedangkan kekerasan terendah diperoleh pada temperatur pembakaran 400°C dan ukuran mesh 30 dengan nilai 43,58 HA. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur karbonisasi dan semakin halus ukuran partikel, briket cenderung memiliki ikatan antarpartikel yang lebih rapat sehingga kekerasannya meningkat.

2. Temperatur pembakaran dan ukuran mesh juga memengaruhi nilai kalor briket. Nilai kalor tertinggi diperoleh pada ukuran mesh 30 dan temperatur pembakaran 500°C sebesar 7834,70 cal/gram, sedangkan nilai kalor terendah diperoleh pada ukuran mesh 100 dan temperatur pembakaran 500°C sebesar 5085,24 cal/gram. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai kalor tidak selalu meningkat seiring ukuran partikel yang lebih halus, tetapi dipengaruhi oleh kombinasi temperatur karbonisasi, ukuran partikel, dan kualitas arang yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kasmaniar *et al.*, “Pengembangan Energi Terbarukan Biomassa dari Sumber Pertanian , Perkebunan dan Hasil Hutan : Kajian Pengembangan dan Kendalanya,” *Serambi Eng.*, vol. VIII, no. 1, pp. 4957–4964, 2023.
- [2] Pi. Palamba *et al.*, “Pemanfaatan limbah serbuk gergajian kayu merbau (*intsia spp.*) sebagai briket biomassa untuk energi rumah tangga,” in *Seminar Nasional Tahunan - Teknik Mesin*, vol. 23, no. 1, 2025, pp. 142–148.
- [3] A. Dahlan, D. Yogaswara, and R. Febrijanto, “Studi Efektivitas Penambahan Cangkang Kemiri dan Superlasticizer pada Sifat Mekanik Beton,” *J. Konstr.*, vol. 21, no. 2, pp. 257–264, 2023.
- [4] K. R. Ningtyas *et al.*, “TEKNOLOGI TEPAT GUNA KARBONISASI DALAM OPTIMALISASI RENDEMEN ARANG DAN REDUKSI VOLUME ASAP DI KELOMPOK TANI SIMBARINGIN DUSUN SIDOSARI LAMPUNG SELATAN,” *J. Pengabd. Nas.*, vol. 6, no. 1, pp. 18–24, 2025.
- [5] K. L. Mittal and S. K. Panigrahi, *Structural Adhesives Properties, Characterization and Applications*. 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2023. [Online]. Available: <https://dokumen.pub/qdownload/structural-adhesives-properties-characterization-and-applications-9781394174720-1394174721.html>
- [6] A. Priyanto, Hantarum, and Sudarno, “PENGARUH VARIASI UKURAN

- PARTIKEL BRIKET TERHADAP KERAPATAN, KADAR AIR, DAN LAJU PEMBAKARAN PADA BRIKET KAYU SENGON,” in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VI 2018 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, 2018, pp. 541–546.
- [7] M. Syukri, S. Aisyah, M. A. Welirang, and N. H. Putri, “Pengaruh Waktu Karbonisasi Pada Proses Pembuatan Briket Pelepah Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Dengan Perekat Tepung Tapioka,” *J. Mesil (Mesin Elektro Sipil)*, vol. 4, no. 2, pp. 55–74, 2021.
- [8] G. Murdikaningrum, M. P. U. Susanto, R. T. Nurhanifah, and Mualifah, “Karakteristik Briket Campuran Arang Kulit Talas dan Sekam Padi,” *Sainteks J. sains dan Tek.*, vol. 5, no. 2, pp. 126–136, 2023.
- [9] Mafrudin, S. D. Handono, Mustofa, E. Mujianto, and R. Saputra, “Kinerja bom kalorimeter sebagai alat ukur nilai kalor bahan bakar,” *J. Progr. Stud. Tek. Mesin UM Metro*, vol. 11, no. 1, pp. 125–134, 2022.
- [10] R. J. Huzaiva, S. Anastasya, M. R. Mua, and R. Cahyani, “Pemanfaatan limbah padat ampas tebu sebagai bahan bakar pembangkit listrik,” *JUTIN J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 8, no. 1, pp. 1414–1421, 2025.
- [11] Junaidi and A. Irawan, “ANALISA PENGUJIAN KEKERASAN MATERIAL BAJA KARBONRENDAH DAN BESI MENGGUNAKAN METODE UJI BRINNEL,” *JITEKH*, vol. 7, no. 2, pp. 57–61, 2019.
- [12] K. Kriener *et al.*, “Investigating the Reliability of Shore Hardness in the Design of Procedural Task Trainers,” *bioengineering*, vol. 12, no. 41, pp. 1–15, 2025.