

## BRIKET ARANG DARI SERBUK GERGAJI KAYU ULIN DAN KAYU BENUAS DENGAN PEREKAT TAPIOKA

*Charcoal Briquettes from Ulin and Benuas Wood Sawdust with Tapioca as a Binder*

Yonatan Aditia<sup>1\*</sup>, Gracyela Hutabalian<sup>1</sup>, Monica Simanjuntak<sup>1</sup>, Ricky Purba<sup>1</sup>,  
Wahyu Supriyati<sup>1</sup>, Alpian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Kehutanan, Universitas Palangka Raya, Kalimantan Tengah, Indonesia  
Corresponding Author: yonatanaditia252@gmail.com

### ABSTRACT

*This study aims to utilize sawdust waste from ulin wood (*Eusideroxylon zwageri*) and benuas wood (*Shorea laevis* Ridl.) as raw materials for charcoal briquette production using tapioca as a natural binder. The sawdust obtained from sawmill industry waste was processed through several stages, namely drying, carbonization, cooling, mixing with tapioca adhesive solution, molding using a hydraulic system, and oven drying. The resulting briquettes were then tested for their quality, including moisture content, ash content, volatile matter, calorific value, and compressive strength based on SNI and ASTM standards. The results indicated that the moisture content of the briquettes ranged from approximately 5% to 8%, meeting the required standards, although several samples exceeded 10%. Volatile matter content varied between 1% and 10%, with most samples complying with the recommended limit of less than 15%. Ash content ranged from 2% to 5%, while a small number of samples reached up to 9.5%. The majority of briquettes exhibited compressive strength values above the minimum standard requirement of 12 kg/cm<sup>2</sup>; however, some samples showed lower strength due to uneven distribution of the binder during the mixing process. Overall, charcoal briquettes produced from Ulin and Benuas wood sawdust bonded with tapioca starch demonstrated good quality, high energy potential, and environmentally friendly characteristics. Furthermore, the conversion of sawdust waste into charcoal briquettes contributes to sustainable waste management practices and offers promising opportunities for the development of renewable alternative energy sources and economically viable small-scale industries.*

**Keywords:** Charcoal Briquettes, Sawdust, *Eusideroxylon Zwageri*, *Shorea Laevis*, Tapioca Starch Binder

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan limbah serbuk gergaji kayu ulin (*Eusideroxylon zwageri*) dan kayu benuas (*Shorea laevis* Ridl) sebagai bahan baku pembuatan briket arang dengan perekat alami berupa tapioka. Serbuk gergaji kayu yang diperoleh dari limbah industri penggergajian diolah melalui beberapa tahap, yaitu pengeringan, pengarangan, pendinginan, pencampuran dengan larutan perekat tapioka, pencetakan dengan sistem hidrolis, serta pengeringan menggunakan oven. Briket yang dihasilkan kemudian diuji kualitasnya meliputi kadar air, kadar abu, zat mudah menguap, nilai kalor, dan keteguhan tekan berdasarkan standar SNI dan ASTM. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air briket berkisar 5–8% sesuai standar, meskipun beberapa sampel melebihi 10%. Nilai zat mudah menguap bervariasi 1–10%, sebagian besar memenuhi standar (<15%). Kadar abu berada pada kisaran 2–5% dengan sebagian kecil sampel mencapai 9,5%. Nilai keteguhan tekan mayoritas memenuhi standar minimum 12 kg/cm<sup>2</sup>, meskipun terdapat sampel dengan nilai rendah akibat distribusi perekat yang kurang merata. Secara umum, briket arang dari serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas dengan perekat tapioka memiliki kualitas yang baik, bernilai kalor tinggi, ramah lingkungan, serta berpotensi menjadi energi alternatif terbarukan. Pemanfaatan limbah serbuk kayu menjadi briket juga mendukung pengelolaan limbah industri serta dapat dikembangkan sebagai usaha berkelanjutan dengan prospek ekonomi yang menjanjikan.

**Kata kunci:** Briket Arang, Serbuk Gergaji, Kayu Ulin, Kayu Benuas, Perekat Tapioka

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi manusia meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dalam hal ini, biomassa merupakan salah satu sumber energi yang memungkinkan. Sebagian besar energi yang digunakan oleh masyarakat saat ini berasal dari bahan bakar fosil seperti minyak tanah dan gas. Permintaan energi dari bahan bakar fosil terus meningkat setiap tahun. dengan bertambahnya aktivitas manusia. Akibatnya, ketersediaan bahan bakar minyak semakin menipis, sehingga diperlukan pengembangan sumber energi alternatif yang terbarukan, ramah lingkungan, dan mudah diakses oleh masyarakat dan penduduk berpenghasilan rendah dan menengah (Saleh, et al., 2017). Serbuk gergaji kayu adalah limbah dari hasil pengolahan kayu yang pemanfaatannya belum maksimal biasanya langsung dibuang, dibakar, dan dibiarkan begitu saja oleh pemilik industri. Serbuk gergaji kayu masih mengikat energi yang melimpah dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan briket. Serbuk gergaji kayu merupakan biomassa dengan kandungan terbesar berupa selulosa, disamping hemiselulosa dan lignin dalam jumlah kecil. Semakin tinggi kandungan selulosa dapat menghasilkan briket yang bermutu baik dan dapat menurunkan kadar abu.

Briket merupakan bahan bakar yang fungsinya untuk menyalakan dan mempertahankan nyala api. Karakteristik pembakaran pada briket antara lain, peningkatan laju pembakaran briket. (Sukowati et al., 2016). Menurut (Patabang, 2013), proses pemberiketan pada dasarnya merupakan pemadatan material menjadi bentuk tertentu. Setiap bahan memiliki karakteristik unik untuk dijadikan briket, Namun yang terpenting bahan tersebut harus memiliki kapasitas panas yang tinggi. Salah satu keuntungan utama briket biomassa adalah memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon karena produk daur ulang dari limbah organik. Nilai kalor yang dihasilkan briket dapat terlihat pada saat proses pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor briket, maka briket semakin baik kualitas. Kualitas standar briket menurut SNI 01-6235-2000, minimal sebesar 5000 kal/g (Sukowati et al., 2019).

Pembuatan briket biomassa memerlukan penambahan bahan perekat untuk

meningkatkan sifat fisik dari briket. Adanya penambahan kadar perekat yang sesuai pada pembuatan briket akan meningkatkan nilai kalor briket tersebut. Jenis perekat yang digunakan pada pembuatan briket berpengaruh terhadap kerapatan, ketahanan tekan, nilai kalor bakar, kadar air, dan kadar abu. Penggunaan jenis dan kadar perekat pada pembuatan briket merupakan salah satu faktor penting dalam pembuatan briket. Perekat tapioka memiliki keunggulan yaitu dapat menghasilkan abu yang relatif sedikit, penanganan yang mudah, daya rekat kering yang tinggi, mudah diperoleh dan harga yang murah (Rofiq dan Hardjono, 2023). Menurut penelitian Sulistyningkarti dan Utami (2017), dengan perlakuan jenis perekat terigu dan tapioka, menunjukkan bahwa perekat yang optimum yaitu perekat tapioka

## METODE PENELITIAN

### Bahan dan Peralatan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa serbuk gergaji kayu ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) dan serbuk gergaji kayu benuas (*Shorea laevis*) dari limbah pengergajian kayu, tepung tapioka, aquades, minyak tanah. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Seng pembakaran, cetakan briket arang dan mesin press, alat uji tekan/UTM (Universal Testing Machine), Oven pengabuan, Oven pengering, desicator, timbangan analitik, panci, sendok kayu, gelas arlemeyer, plastik klip, blender, tisu, serbet, tabung gas, balok, masker.

### Pembuatan Briket Arang

#### *Persiapan Bahan Baku*

Sebelum dilakukan proses pengarangan, tahap persiapan bahan baku dalam pembuatan briket arang dimulai dengan pengumpulan serbuk gergaji kayu yang diperoleh dari limbah industri pengolahan kayu, dalam hal ini kayu ulin dan kayu benuas. Serbuk gergaji yang masih bercampur dengan kotoran atau partikel asing dibersihkan terlebih dahulu agar kualitas arang yang dihasilkan lebih baik. Setelah itu, serbuk dikeringkan untuk menurunkan kadar air, biasanya dengan cara dijemur di bawah sinar matahari hingga kadar airnya berkurang sehingga mudah mengalami proses karbonisasi. Proses pengeringan ini sangat penting karena

kadar air yang terlalu tinggi dapat menghambat pembakaran dan menghasilkan asap berlebihan, sedangkan serbuk yang sudah kering akan lebih cepat terbakar dan menghasilkan arang dengan kualitas yang lebih baik.

### **Proses Pengarangan**

Tahap awal dalam pembuatan briket arang adalah proses pengarangan atau karbonisasi bahan baku. Proses ini bertujuan untuk mengubah serbuk gergaji kayu menjadi arang melalui pembakaran dengan suplai oksigen yang terbatas. Kegiatan pengarangan serbuk gergaji kayu yang dilakukan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Proses Pengarangan



Proses pengarangan serbuk gergaji kayu dalam pembuatan briket arang dilakukan dengan membakar serbuk yang telah dikeringkan secara terkendali hingga mencapai suhu tertentu, yang terukur menggunakan alat pengukur suhu inframerah sekitar 338,3 °C. Proses ini bertujuan untuk mengubah serbuk kayu menjadi arang melalui proses karbonisasi, yaitu pemanasan dengan suplai oksigen terbatas sehingga komponen volatil menguap dan menyisakan karbon padat.

Menurut Sari dan Yuliani (2022), proses karbonisasi merupakan tahapan penting dalam pembuatan briket karena sangat memengaruhi kualitas produk yang dihasilkan, terutama terhadap kadar air, kadar abu, dan nilai kalor. Karbonisasi yang berlangsung secara optimal akan menghasilkan arang dengan struktur karbon yang lebih stabil dan kandungan karbon terikat yang lebih tinggi. Kondisi tersebut dapat meningkatkan mutu briket, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih efisien, memiliki nilai kalor tinggi, serta layak

dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.

### **Proses Pendinginan Arang**

Setelah proses karbonisasi selesai, arang hasil pembakaran perlu didinginkan sebelum digunakan pada tahap selanjutnya. Proses pendinginan dilakukan untuk menurunkan suhu arang secara bertahap agar proses karbonisasi benar-benar berhenti serta mencegah terjadinya pembakaran lanjutan. Tahapan pendinginan arang dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

**Gambar 2.** Proses Pendinginan Arang



Serbuk gergaji kayu yang telah melalui proses pembakaran atau pengarangan dipindahkan ke dalam panci sebagai wadah penampungan sementara. Pemandahan ini bertujuan agar arang yang masih panas dapat lebih mudah dikendalikan, sekaligus meminimalisir kehilangan material selama proses pendinginan. Pada tahap ini, arang biasanya masih mengeluarkan asap tipis, menandakan bahwa proses karbonisasi belum sepenuhnya berhenti. Dengan menggunakan wadah tertutup atau berbahan logam seperti panci, proses pendinginan dapat dilakukan secara lebih aman dan terkendali sebelum arang diproses ke tahap berikutnya.

Kemudian dilanjut dengan proses penimbangan aquades menggunakan timbangan digital dengan wadah berupa labu erlenmeyer. Aquades ditimbang dengan tujuan untuk memperoleh volume atau massa air yang tepat sebelum digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan perekat tapioka. Dalam pembuatan briket arang, tepung tapioka tidak langsung dicampurkan dalam bentuk kering, melainkan dilarutkan ke dalam aquades panas agar berubah menjadi larutan perekat yang homogen.

Proses ini penting karena komposisi air yang tepat akan memengaruhi konsistensi dan kekentalan larutan perekat, sehingga mampu merekatkan serbuk arang dengan baik. Tahap penimbangan ini juga berfungsi untuk menjaga konsistensi formula briket, karena rasio antara arang, perekat, dan air sangat menentukan sifat fisik dan mekanik briket yang dihasilkan.

Menurut Firmansyah dan Susanto (2021), penggunaan perekat tapioka dengan larutan air yang terukur secara tepat mampu meningkatkan kerapatan, menurunkan kadar air, serta meningkatkan nilai kalor briket. Oleh karena itu, proses penimbangan aquades menjadi salah satu tahapan awal yang penting dalam pembuatan

briket arang berbasis perekat alami guna menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik.

### ***Pencampuran Serbuk Arang dan Perekat***

Tahap pencampuran serbuk arang dan perekat dilakukan untuk memperoleh campuran yang homogen sehingga dapat menghasilkan briket dengan kualitas yang baik. Pada penelitian ini, briket arang dibuat menggunakan berbagai komposisi campuran serbuk arang kayu ulin dan kayu benuas dengan penambahan perekat tapioka dalam jumlah yang sama. Variasi komposisi bahan baku yang digunakan dalam pembuatan briket arang disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Komposisi Campuran Serbuk Arang Bahan Baku

Perlakuan	Komposisi Serbuk Arang		Tepung Tapioka (g)	Aquades (ml)
	Ulin (g)	Benuas (g)		
A	35,68 g	0 g	3,57 g	35,70 g/ml
B	24,98 g	10,70 g	3,57 g	35,70 g/ml
C	17,84 g	17,84 g	3,57 g	35,70 g/ml
D	10,70 g	24,98 g	3,57 g	35,70 g/ml
E	0 g	35,68 g	3,57 g	35,70 g/ml

Jumlah pembuatan sampel briket adalah 5 level/taraf x 5 kali ulangan = 25 sampel uji (25 briket arang) yang dicetak. Hasil cetak briket arang yang dibuat berbentuk silinder dengan acuan capaian yang diharapkan terbentuk briket arang dengan tinggi/tebal 2cm, diameter 5 cm dan kerapatan 1 g/cm<sup>3</sup>

Pemasakan perekat tapioka yang dicampur dengan arang hasil pengarangan dalam proses pembuatan briket arang. Pada tahap ini, aquades yang sebelumnya telah ditimbang dipanaskan bersama tepung tapioka hingga membentuk larutan kental yang homogen. Larutan perekat tersebut kemudian dicampurkan dengan arang dari serbuk kayu yang telah melalui proses pengarangan. Pencampuran dilakukan di atas wajan atau wadah logam menggunakan api kompor gas, sambil diaduk secara merata agar perekat menyelimuti seluruh permukaan partikel arang.

Proses ini sangat penting karena menentukan kerapatan dan kekuatan mekanik briket yang dihasilkan. Jika perekat dan arang tercampur merata, maka briket yang dicetak akan lebih padat, tidak mudah hancur, dan memiliki daya ikat yang baik. Menurut Santoso et al.

(2023), penggunaan perekat tapioka dengan komposisi yang tepat mampu meningkatkan kekuatan tekan briket serta menjaga kestabilan selama pembakaran. Dengan demikian, tahap pemasakan dan pencampuran ini menjadi salah satu kunci dalam menghasilkan briket arang berkualitas tinggi yang memenuhi standar SNI.

### ***Proses Pencetakan Briket***

Setelah serbuk arang dan perekat tercampur secara homogen, tahap selanjutnya adalah proses pencetakan briket. Tahap ini bertujuan untuk membentuk campuran arang menjadi briket yang padat dan memiliki bentuk yang seragam. Proses pencetakan briket disajikan pada Gambar 3.

**Gambar 3.** Proses Pencetakan Briket



Pencetakan briket arang menggunakan alat cetak briket manual dengan sistem dongkrak hidrolik. Campuran arang hasil pengarangan yang sudah dihaluskan dan dicampur dengan perekat tapioka sebelumnya dimasukkan ke dalam cetakan silinder yang tersedia pada alat tersebut. Setelah bahan dimasukkan, dongkrak hidrolik berwarna merah pada bagian atas ditekan sehingga menghasilkan tekanan kuat ke arah bawah. Tekanan ini berfungsi untuk memadatkan campuran arang dan perekat di dalam cetakan agar terbentuk briket yang padat, kokoh, dan tidak mudah hancur ketika digunakan.

Pengepresan ini sangat penting karena menentukan kualitas fisik briket, khususnya kerapatan, daya ikat, dan kekuatan mekaniknya. Semakin tinggi tekanan yang diberikan, semakin rapat susunan partikel arang di dalam briket, sehingga briket memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dan waktu pembakaran yang lebih lama. Rahman et al. (2022), bahwa penggunaan alat cetak dengan sistem tekan manual maupun hidrolik mampu meningkatkan kualitas briket dibandingkan hanya dicetak dengan tangan, karena tekanan yang merata membuat briket lebih homogen dan standar bentuknya.

**Gambar 4.** Tahap Pengeringan



Pengovenan briket arang setelah dicetak menggunakan oven laboratorium merk *Memmert*. Tahap ini bertujuan untuk mengeringkan briket dari kadar air yang masih

tersisa setelah proses pencetakan. Briket yang baru saja dipadatkan umumnya masih mengandung kelembapan tinggi akibat adanya campuran perekat tapioka dan aquades. Jika kadar air tidak dikurangi, briket akan mudah hancur, berjamur, dan sulit terbakar dengan baik.

Pada proses ini, briket disusun rapi di dalam rak oven dengan suhu yang diatur sekitar 101–105°C dan dipanaskan selama beberapa jam hingga kadar airnya berkurang sesuai standar. Proses pengovenan dilakukan secara merata agar semua briket mendapatkan panas yang sama sehingga kering sempurna. Menurut penelitian Nurhayati et al. (2021), pengeringan dengan oven lebih efektif dibandingkan penjemuran langsung di bawah sinar matahari, karena suhu lebih stabil, waktu pengeringan lebih singkat, dan hasil briket lebih seragam. Dengan pengeringan yang tepat, briket arang yang dihasilkan menjadi lebih kokoh, tidak mudah hancur, memiliki daya ikat yang baik, serta mampu menghasilkan panas yang lebih optimal ketika digunakan.

### Pengujian Kualitas Briket Arang

Pengujian kualitas briket arang antara lain adalah Kadar abu, kadar zat mudah menguap dan nilai kalor. Pengujian dan perhitungan briket arang berdasarkan ASTM D-3173-03, yaitu kadar air, kerapatan, keteguhan tekan, kadar zat mudah menguap, kadar abu, kadar karbon terikat, dan nilai kalor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan mutu briket arang karena berpengaruh terhadap proses penyalaan, efisiensi pembakaran, dan jumlah asap yang dihasilkan. Nilai rata-rata hasil pengujian kadar air briket arang disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai Rata-Rata Pengujian Kadar Air Briket Arang

Komposisi	Kadar Air (%)		
	N	Mean	Std. Deviation
ulin100	5	6,7780	2,15516
ulin70ban30	5	7,0780	1,18481
ulin50ban50	5	7,4260	1,22128
ulin30ban70	5	7,7340	2,92550
ulin0ban100	5	6.0380	2.73460
Total	25	7.0108	2.06971

Untuk mengetahui pengaruh perbedaan komposisi serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas terhadap kadar air briket arang, dilakukan

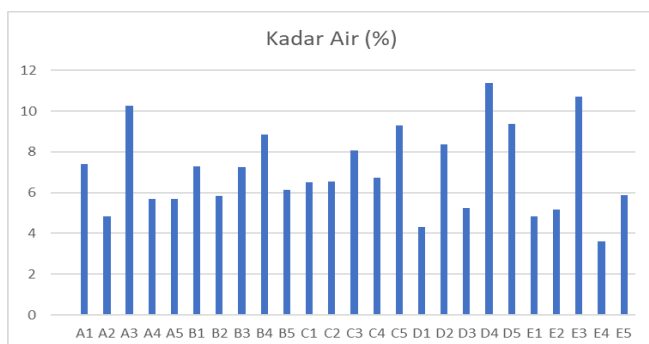
analisis statistik menggunakan uji one-way ANOVA. Hasil analisis statistik terhadap kadar air briket arang disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Uji Analisis Kadar Air dengan Uji ANOVA

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	8.502	4	2.126	0.451	0.771
<i>Within Groups</i>	94.306	20	4.715		
Total	102.809	24			

Hasil analisis kadar air yang diperoleh melalui uji statistik one-way ANOVA, diperoleh nilai F sebesar 0,451 dengan tingkat signifikansi (Sig.) sebesar 0,771, yang lebih tinggi daripada taraf kepercayaan 0,05. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kadar air di antara berbagai perlakuan briket arang yang diuji. Dengan demikian, perbedaan bahan baku atau variasi komposisi yang digunakan tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar air briket arang, sehingga kadar air pada seluruh perlakuan bersifat relatif homogen dan dapat dianggap memiliki tingkat kelembapan yang setara. Grafik nilai kadar air briket arang disajikan dalam Gambar 5.

**Gambar 5.** Grafik Nilai Kadar Air



Nilai kadar air briket arang yang dihasilkan adalah nilai berkisar dari 3% hingga 11%. Nilai kadar air terbesar ditemukan pada perlakuan ulin 100% (A3) yang mencapai lebih dari 10%, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan benuas 0% (D3) dengan kadar air sekitar 3%. Hasil ini menunjukkan bahwa kadar air sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan, di mana kadar air tinggi pada ulin 100% membuat briket lebih sulit terbakar dan menghasilkan asap lebih banyak, sedangkan kadar air rendah pada

perlakuan benuas 0% menandakan briket lebih baik karena mudah menyala, lebih efisien, dan mendukung kualitas pembakaran yang optimal.

Hasil ini sejalan dengan penelitian Sari *et al.* (2020) yang melaporkan kadar air briket berbahan dasar serbuk gergaji berkisar 6–10%, serta penelitian Handayani & Puspitasari (2021) yang menemukan kadar air briket campuran biomassa berada pada rentang 5–11%. Penelitian terbaru oleh Rachmawati *et al.* (2022) juga menunjukkan nilai kadar air briket biomassa dapat mencapai 11%, yang relatif serupa dengan temuan pada perlakuan D4 dan E3 dalam penelitian ini. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kadar air briket arang hasil penelitian ini masih kompetitif dibandingkan penelitian sebelumnya, meskipun diperlukan pengendalian kadar air agar konsisten memenuhi standar mutu.

Secara umum, kadar air briket arang yang dihasilkan masih memenuhi standar mutu briket arang yang dipersyaratkan. Kadar air yang relatif rendah menunjukkan bahwa proses pengeringan dan karbonisasi telah berlangsung dengan baik, sehingga mampu mengurangi kandungan air dalam bahan baku secara optimal. Kondisi ini sangat penting karena kadar air yang rendah dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mempermudah proses penyalaan, serta menghasilkan panas yang lebih stabil selama penggunaan. Oleh karena itu, briket arang yang dihasilkan memiliki potensi yang baik untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.

### Kerapatan

Kerapatan merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas briket arang karena berkaitan dengan tingkat kepadatan bahan, kekuatan mekanis, serta lama waktu

pembakaran. Nilai kerapatan juga memengaruhi ketahanan briket selama proses penyimpanan dan distribusi. Semakin tinggi nilai kerapatan, maka briket cenderung memiliki struktur yang lebih

padat, tidak mudah hancur, dan menghasilkan pembakaran yang lebih stabil. Nilai rata-rata hasil pengujian kerapatan briket arang disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Nilai Rata-Rata Kerapatan Pengujian Briket Arang

Kerapatan (g/cm <sup>3</sup> )			
Komposisi	N	Mean	Std. Deviation
ulin100	5	0,9720	0,13180
ulin70ban30	5	0,8820	0,07362
ulin50ban50	5	0,9060	0,10597
ulin30ban70	5	0,8600	0,03464
Ulin0ban100	5	0.8780	0,09094
Total	25	0,8996	0,09401

Analisis statistik menggunakan uji *one-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan baku terhadap nilai kerapatan briket arang. Uji ini digunakan untuk menentukan apakah perbedaan komposisi serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas memberikan

pengaruh yang nyata terhadap tingkat kerapatan briket yang dihasilkan. Selain itu, analisis statistik juga bertujuan untuk mengetahui tingkat homogenitas data antarperlakuan yang diuji. Hasil uji statistik terhadap kerapatan briket arang disajikan pada Tabel 5.

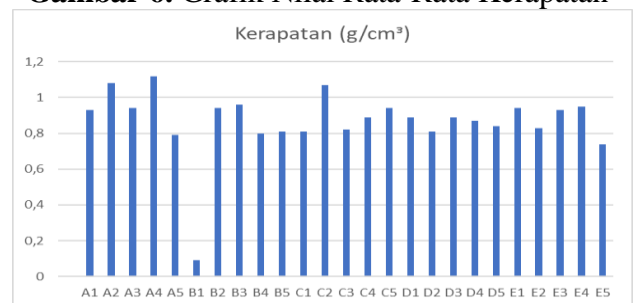
**Tabel 5.** Uji Analisis Kerapatan dengan Uji Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	0.038	4	0.043	1.281	0.310
Within Groups	0.174	20	0.033		
Total	0.212	24			

Hasil analisis statistik menggunakan uji *one-way* ANOVA terhadap data kerapatan briket arang menunjukkan nilai F sebesar 1,281 dengan tingkat signifikansi (Sig.) sebesar 0,310, yang lebih tinggi dari taraf kepercayaan 0,05. Nilai signifikansi yang melebihi 0,05 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada nilai kerapatan antar perlakuan yang diuji. Dengan kata lain, variasi komposisi serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas yang digunakan dalam penelitian ini tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kerapatan briket arang yang dihasilkan. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap perlakuan memiliki tingkat kepadatan yang relatif seragam, sehingga perbedaan komposisi bahan baku belum mampu menghasilkan perubahan yang berarti terhadap karakteristik kerapatan briket.

dalam menentukan nilai kerapatan briket yang dihasilkan. Grafik nilai rata-rata kerapatan briket arang disajikan pada Gambar 6.

**Gambar 6.** Grafik Nilai Rata-Rata Kerapatan



Nilai kerapatan briket arang yang dihasilkan adalah nilai berkisar dari 0,1 g/cm<sup>3</sup> hingga 1,1 g/cm<sup>3</sup>. Adapun nilai kerapatan terbesar ditemukan pada perlakuan ulin 100% (A3) dengan nilai lebih dari 1 g/cm<sup>3</sup>, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan benuas 0% (B2) dengan kerapatan sekitar 0,1 g/cm<sup>3</sup>. Hasil ini memperlihatkan bahwa penggunaan ulin 100% mampu menghasilkan briket dengan

kerapatan yang lebih tinggi sehingga lebih padat, kuat, dan memiliki kualitas pembakaran yang lebih baik, sementara pada perlakuan benuas 0% kerapatannya rendah sehingga briket cenderung rapuh dan kurang optimal dalam proses pembakaran.

Data kerapatan ini sejalan dengan penelitian Setiawan *et al.* (2020) yang melaporkan kerapatan briket berbahan limbah serbuk kayu berada pada kisaran 0,70–0,95 g/cm<sup>3</sup>, serta penelitian Handayani & Puspitasari (2021) yang menemukan kerapatan briket biomassa campuran berkisar antara 0,75–1,05 g/cm<sup>3</sup>. Rahmadani *et al.* (2022) juga melaporkan kerapatan briket tempurung kelapa mencapai lebih dari 1,0 g/cm<sup>3</sup> pada perlakuan tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kerapatan briket dalam penelitian ini masih kompetitif dan sebagian bahkan lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian sebelumnya, yang menandakan kualitas briket cukup baik dalam hal kepadatan fisik.

Secara umum, nilai kerapatan briket arang yang dihasilkan menunjukkan bahwa sebagian besar perlakuan telah menghasilkan briket dengan tingkat kepadatan yang cukup baik.

Kerapatan yang tinggi menunjukkan bahwa partikel arang dan perekat dapat menyatu dengan baik sehingga menghasilkan briket yang lebih padat dan tidak mudah hancur. Selain itu, kerapatan yang baik juga berpengaruh terhadap kualitas pembakaran, karena briket dengan struktur yang padat cenderung memiliki waktu pembakaran yang lebih lama dan menghasilkan panas yang lebih stabil. Oleh karena itu, nilai kerapatan yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa briket arang yang dihasilkan memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif.

### Kadar Abu

Kadar abu merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan mutu briket arang karena mencerminkan jumlah residu anorganik yang tersisa setelah proses pembakaran. Tingginya kadar abu dapat memengaruhi efisiensi pembakaran serta menurunkan nilai kalor briket yang dihasilkan. Oleh karena itu, pengujian kadar abu dilakukan untuk mengetahui kualitas briket arang pada setiap perlakuan. Nilai rata-rata hasil pengujian kadar abu briket arang disajikan pada Tabel 6.

**Tabel 6.** Nilai Rata-Rata Kadar Abu Pengujian Briket Arang

Komposisi	Kadar Abu (%)		
	N	Mean	Std. Deviation
ulin100	5	3,4592	2,06690
ulin70ban30	5	3,0483	1,83414
ulin50ban50	5	2,8600	1,74637
ulin30ban70	5	3,0409	0,66611
ulin0ban100	5	4,0592	3,02253
Total	25	3,2935	1,88955

Analisis statistik menggunakan uji *one-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan baku terhadap kadar abu briket arang. Uji ini bertujuan untuk menentukan apakah perbedaan komposisi serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas memberikan

pengaruh yang nyata terhadap kadar abu yang dihasilkan. Selain itu, analisis statistik juga dilakukan untuk mengetahui tingkat keseragaman nilai kadar abu antarperlakuan yang diuji. Hasil uji statistik terhadap kadar abu briket arang disajikan pada Tabel 7.

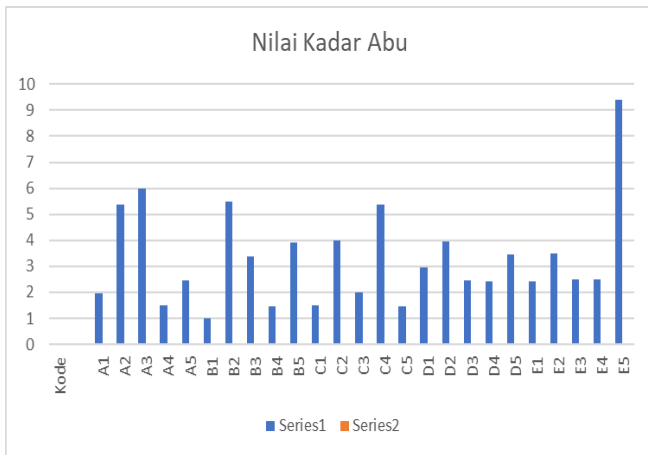
**Tabel 7.** Uji Analisis Kadar Abu dengan Uji Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.628	4	1.157	0.285	0.884
Within Groups	81.061	20	4.053		
Total	85.689	24			

Keterangan: ns = tidak signifikan

Hasil uji *one-way* ANOVA terhadap kadar abu briket arang, diperoleh nilai F sebesar 0,285 dengan tingkat signifikansi (Sig.) sebesar 0,884, yang lebih tinggi dari taraf kepercayaan 0,05. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan di antara berbagai perlakuan bahan baku terhadap kadar abu yang dihasilkan. Dengan kata lain, variasi komposisi campuran serbuk gergaji kayu tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap kandungan abu pada briket arang, sehingga kadar abu antar perlakuan dapat dikatakan relatif seragam dan tidak dipengaruhi oleh perbedaan proporsi bahan yang digunakan. Grafik nilai kadar abu pada Gambar 7.

**Gambar 7.** Grafik Nilai Kadar Abu



Nilai kadar abu pada briket arang yang dihasilkan adalah nilai berkisar dari 1% hingga 9%. Nilai ilai kadar abu terbesar ditemukan pada perlakuan ulin 100% (E5) dengan nilai mencapai sekitar 9%, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan benuas 0% (B3) dengan kadar abu sekitar 1%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar abu maka semakin rendah kualitas briket karena dapat meninggalkan banyak residu setelah pembakaran, sedangkan kadar abu yang rendah memperlihatkan kualitas

briket yang lebih baik karena menghasilkan pembakaran lebih bersih dan efisien.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Sitorus *et al.* (2021) yang melaporkan kadar abu briket arang tempurung kelapa berkisar 2,15–6,84%, serta penelitian Yuliah *et al.* (2020) yang mendapatkan kadar abu briket serbuk kayu sebesar 2,5–7,2%, masih dalam kisaran yang sama dengan hasil penelitian ini. Kadar abu tertinggi pada sampel E5 (9,41%) lebih tinggi dari penelitian sebelumnya, yang dapat disebabkan oleh kandungan mineral yang lebih besar pada bahan baku serbuk kayu tertentu. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar briket hasil penelitian ini memenuhi standar mutu, meskipun beberapa perlakuan menunjukkan kadar abu lebih tinggi dibandingkan penelitian terdahulu.

Secara umum, kadar abu briket arang yang dihasilkan pada penelitian ini masih berada dalam kisaran standar mutu briket arang. Rendahnya kadar abu menunjukkan bahwa proses karbonisasi berlangsung dengan baik sehingga kandungan bahan anorganik yang tersisa relatif sedikit. Kadar abu yang rendah sangat diharapkan karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, mengurangi jumlah residu yang tertinggal, serta menghasilkan panas yang lebih optimal. Oleh karena itu, sebagian besar perlakuan pada penelitian ini menunjukkan potensi yang baik untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan.

**Zat Mudah Menguap**

Zat mudah menguap merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas briket arang karena memengaruhi proses penyalaan dan karakteristik pembakaran. Nilai rata-rata hasil pengujian kadar zat mudah menguap briket arang disajikan pada Tabel 8 berikut.

**Tabel 8.** Nilai Rata-Rata Kadar Zat Mudah Menguap Pengujian Briket Arang

Kadar Zat Mudah Menguap (%)			
Komposisi	N	Mean	Std. Deviation
ulin100	5	3,4592	2,06690
ulin70ban30	5	3,0483	1,83414
ulin50ban50	5	2,8600	1,74637
ulin30ban70	5	3,0409	0,66611
ulin0ban100	5	4,0592	3,02253
Total	25	3,2935	1,88955

Analisis statistik menggunakan uji *one-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan baku terhadap kadar zat

mudah menguap briket arang. Hasil uji statistik terhadap kadar zat mudah menguap briket arang disajikan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Uji Analisis Zat Mudah Menguap dengan Uji Anova

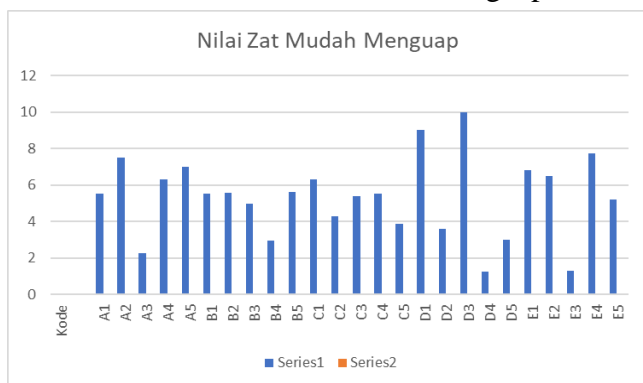
	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	2,047	4	0,512	0,091	0,984
<i>Within Groups</i>	112,417	20	5,621		
Total	114,464	24			

Hasil analisis statistik menggunakan uji *one-way* ANOVA terhadap data kadar zat mudah menguap pada briket arang, diperoleh nilai *F* sebesar 0,091 dengan tingkat signifikansi (*Sig.*) sebesar 0,984, yang secara signifikan lebih tinggi dari taraf kepercayaan 0,05. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan perlakuan pada komposisi bahan baku tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar zat mudah menguap briket arang. Kandungan zat mudah menguap antar kelompok perlakuan dapat dikatakan relatif homogen, sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi campuran bahan tidak memiliki peran yang dominan dalam menentukan kadar zat mudah menguap pada briket arang yang dihasilkan. Grafik nilai kadar zat mudah menguap disajikan dalam Gambar 8.

Kadar zat mudah menguap yang rendah pada perlakuan benuas 0% memperlihatkan kualitas briket yang lebih baik karena menghasilkan pembakaran yang lebih bersih dan efisien.

Hasil penelitian ini mirip dengan temuan Lestari *et al.* (2020) yang melaporkan nilai zat mudah menguap briket limbah biomassa berkisar 4–8%, serta penelitian Kurniawan & Putri (2021) yang mendapatkan kadar zat mudah menguap sebesar 5–9% pada briket tempurung kelapa dengan variasi perekat. Pratama *et al.* (2022) juga melaporkan bahwa nilai zat mudah menguap briket arang serbuk kayu berada pada kisaran 3–10%, yang serupa dengan rentang hasil penelitian ini. Dengan demikian, kadar rata-rata zat mudah menguap sebesar 5,32% masih dalam kategori baik dan sesuai dengan mutu briket arang yang diharapkan, meskipun perlu pengendalian pada sampel dengan nilai terlalu tinggi atau terlalu rendah agar kualitas lebih seragam.

**Gambar 8.** Zat Mudah Menguap



Nilai kadar zat mudah menguap pada briket arang yang dihasilkan adalah nilai berkisar dari 1% hingga 10%. Nilai kadar zat mudah menguap terbesar ditemukan pada perlakuan ulin 100% (D3) dengan nilai mencapai 10%, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan benuas 0% (E3) dengan nilai sekitar 1%. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kandungan zat mudah menguap, maka briket akan menghasilkan asap lebih banyak saat dibakar, sehingga kurang baik bagi kualitas pembakaran.

Secara umum, kadar zat mudah menguap pada briket arang yang dihasilkan masih berada dalam kisaran yang sesuai dengan standar mutu briket arang. Kandungan zat mudah menguap yang relatif rendah menunjukkan bahwa proses karbonisasi telah berlangsung dengan baik, sehingga sebagian besar senyawa volatil telah terurai selama proses pengarangan. Kondisi ini sangat menguntungkan karena dapat menghasilkan pembakaran yang lebih bersih, mengurangi jumlah asap yang dihasilkan, serta meningkatkan efisiensi penggunaan briket. Oleh karena itu, sebagian besar perlakuan pada penelitian ini menunjukkan kualitas yang baik sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan.

### Keteguhan Tekan

Keteguhan tekan merupakan salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas briket arang karena berkaitan dengan kemampuan briket dalam menahan tekanan

selama proses penyimpanan, pengangkutan, dan penggunaan. Briket dengan nilai keteguhan tekan yang tinggi cenderung tidak mudah hancur

selama penyimpanan dan penggunaan. Nilai rata-rata hasil pengujian keteguhan tekan briket arang disajikan pada Tabel 9.

**Tabel 9.** Nilai Rata-Rata Keteguhan Tekan Pengujian Briket Arang

Komposisi	Keteguhan Tekan (g/cm <sup>2</sup> )		
	N	Mean	Std. Deviation
ulin100	5	16.5103	5.46888
ulin70ban30	5	10.3069	7.80111
ulin50ban50	5	16.8215	4.50236
ulin30ban70	5	13.4665	5.30653
ulin0ban100	5	14.1866	1.67292
Total	25	14.2584	5.42916

Analisis statistik menggunakan uji *one-way* ANOVA dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi bahan baku terhadap keteguhan tekan briket arang. Uji ini bertujuan untuk menentukan apakah perbedaan komposisi serbuk

gergaji kayu ulin dan kayu benuas memberikan pengaruh yang nyata terhadap kekuatan tekan briket yang dihasilkan. Hasil uji statistik terhadap keteguhan tekan briket arang disajikan pada Tabel 10.

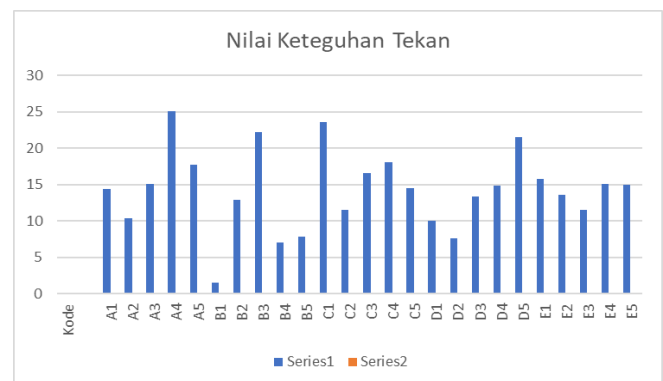
**Tabel 10.** Uji Analisis Keteguhan Tekan dengan Uji Anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	139.437	4	34.859	1.227	0.331
Within Groups	567.980	20	28.399		
Total	707.418	24			

Hasil uji *one-way* ANOVA terhadap data keteguhan tekan briket arang menunjukkan nilai F sebesar 1,227 dengan tingkat signifikansi (Sig.) sebesar 0,331, yang lebih tinggi dari taraf kepercayaan 0,05. Nilai signifikansi yang melebihi 0,05 menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang nyata pada keteguhan tekan antarperlakuan yang diuji. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi komposisi serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan briket dalam menahan tekanan. Dengan demikian, seluruh perlakuan menghasilkan nilai keteguhan tekan yang relatif seragam meskipun menggunakan komposisi bahan baku yang berbeda.

Variasi campuran serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas tidak menimbulkan perbedaan yang berarti terhadap kekuatan mekanis briket, sehingga nilai keteguhan tekan antarperlakuan relatif homogen. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh perlakuan menghasilkan briket dengan kualitas mekanis yang relatif setara. Grafik nilai keteguhan tekan briket arang disajikan pada Gambar 9.

**Gambar 9.** Grafik Nilai Keteguhan Tekan



Nilai keteguhan tekan pada briket arang yang dihasilkan adalah nilai berkisar dari 5 kg/cm<sup>2</sup> hingga 25 kg/cm<sup>2</sup>. Adapun nilai keteguhan tekan terbesar ditemukan pada perlakuan ulin 100% (B3) dengan nilai mencapai sekitar 25 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan nilai terendah terdapat pada perlakuan benuas 0% (A4) dengan nilai sekitar 5 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil ini menunjukkan bahwa briket dengan komposisi ulin murni memiliki struktur yang lebih padat dan kuat sehingga mampu menahan tekanan lebih tinggi, sedangkan pada perlakuan benuas 0% briket cenderung rapuh dan kurang kokoh. Keteguhan

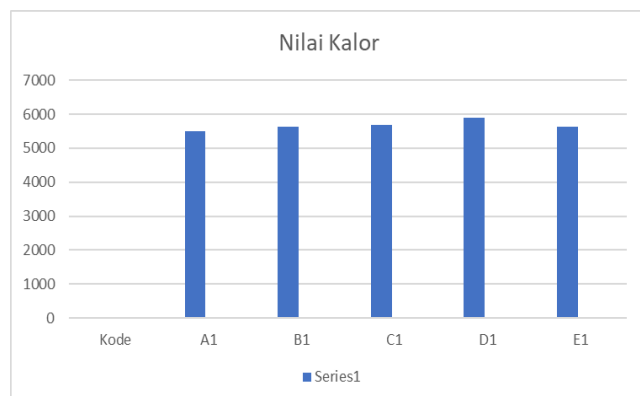
tekan yang tinggi penting untuk menjaga keawetan briket selama penyimpanan maupun distribusi, serta mendukung kualitas pembakaran yang lebih optimal.

Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Ningsih *et al.* (2020) yang melaporkan bahwa briket arang berbahan dasar campuran serbuk kayu dan perekat memiliki keteguhan tekan dalam kisaran 10 – 22 kg/cm<sup>2</sup>. Penelitian Sari *et al.* (2021) juga menunjukkan bahwa keteguhan tekan briket arang dari limbah biomassa dapat mencapai 15 – 25 kg/cm<sup>2</sup>, tergantung pada komposisi bahan baku dan kadar perekat yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa hasil penelitian ini tidak hanya sesuai dengan penelitian sebelumnya, tetapi juga beberapa perlakuan seperti A4 dan C1 menghasilkan nilai keteguhan tekan yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata penelitian terdahulu, sehingga berpotensi meningkatkan kualitas briket arang sebagai bahan bakar alternatif ramah lingkungan.

### Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan salah satu parameter utama dalam menentukan kualitas briket arang karena menunjukkan besarnya energi panas yang dapat dihasilkan selama proses pembakaran. Semakin tinggi nilai kalor, maka semakin besar energi yang dihasilkan sehingga briket akan lebih efisien sebagai bahan bakar. Hasil pengujian nilai kalor briket arang pada berbagai perlakuan disajikan pada Gambar 10.

**Gambar 10.** Grafik Nilai Kalor



Nilai rata-rata kalor pada briket arang yang dihasilkan adalah nilai berkisar dari 5200 kal/gr hingga 5600 kal/gr. Nilai kalor terbesar ditemukan pada perlakuan ulin 100% (D1) yang mencapai sekitar 5600 kal/gr, sedangkan nilai

terendah terdapat pada perlakuan benuas 0% (A1) dengan nilai sekitar 5200 kal/gr. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kalor, maka kualitas briket semakin baik karena mampu menghasilkan panas yang lebih besar dan stabil saat pembakaran, sedangkan nilai kalor yang rendah menandakan energi panas yang dihasilkan lebih sedikit sehingga kurang efisien dalam penggunaannya.

Hasil penelitian ini mirip dengan Arniati *et al.* (2021) yang melaporkan bahwa briket arang berbahan dasar campuran serbuk kayu dan tempurung kelapa memiliki nilai kalor berkisar 5.200 – 6.100 cal/g. Selain itu, penelitian Riski *et al.* (2020) juga menemukan bahwa nilai kalor briket arang serbuk gergaji kayu berkisar antara 5.300 – 5.800 cal/g, yang mendekati hasil penelitian ini. Dengan demikian, nilai kalor briket arang pada penelitian ini berada dalam kisaran penelitian sebelumnya, bahkan beberapa perlakuan seperti D1 menunjukkan nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata penelitian terdahulu.

Secara umum, nilai kalor briket arang yang dihasilkan dalam penelitian ini menunjukkan kualitas yang baik dan telah memenuhi kisaran standar mutu briket arang. Tingginya nilai kalor yang diperoleh menunjukkan bahwa proses karbonisasi berlangsung secara optimal sehingga mampu menghasilkan kandungan karbon yang tinggi. Nilai kalor yang tinggi sangat diharapkan karena dapat meningkatkan efisiensi penggunaan briket, menghasilkan panas yang lebih besar, serta memperpanjang waktu pembakaran. Oleh karena itu, briket arang dari campuran serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas berpotensi untuk dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Briket arang yang dibuat dari serbuk gergaji kayu ulin dan kayu benuas dengan perekat tapioka memiliki kualitas yang baik dan memenuhi sebagian besar standar mutu briket. Nilai kalor yang dihasilkan berkisar 5.200–5.600 kal/g, sehingga layak digunakan sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Variasi komposisi bahan baku tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar air, kerapatan, kadar

abu, zat mudah menguap, dan keteguhan tekan. Pemanfaatan limbah serbuk gergaji menjadi briket arang berpotensi mendukung pengelolaan limbah industri kayu sekaligus menyediakan sumber energi yang ramah lingkungan.

### Saran

Penelitian lanjutan mengenai variasi jenis dan konsentrasi perekat serta optimasi proses karbonisasi dan pengepresan untuk meningkatkan kualitas briket. Selain itu, pengujian skala produksi dan analisis kelayakan usaha perlu dilakukan untuk mendukung pengembangan briket arang sebagai produk energi alternatif yang bernilai ekonomis.

### DAFTAR PUSTAKA

- Firmansyah, A., & Susanto, H. (2021). Pengaruh penggunaan perekat tapioka terhadap kualitas briket arang biomassa. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 10(2), 55–63.
- Nurhayati, S., Putra, R., & Ananda, F. (2021). Efektivitas metode pengeringan terhadap mutu briket biomassa. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 45–53.
- Patabang, M. (2013). Teknologi pembuatan briket biomassa sebagai energi alternatif. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 5(2), 67–74.
- Rahman, A., Suryadi, D., & Karim, M. (2022). Rancang bangun alat pencetak briket arang berbasis hidrolis dan pengaruhnya terhadap kualitas briket. *Jurnal Mekanika dan Energi*, 18(3), 201–210.
- Rofiq, M., & Hardjono, A. (2023). Analisis perbandingan perekat alami pada pembuatan briket arang. *Jurnal Sains dan Inovasi Energi*, 5(1), 88–96.
- Saleh, A., Yani, A., & Fitria, R. (2017). Potensi biomassa sebagai sumber energi alternatif terbarukan di Indonesia. *Jurnal Energi dan Lingkungan*, 13(2), 77–84.
- Santoso, T., Wibowo, A., & Lestari, D. (2023). Optimalisasi komposisi perekat tapioka terhadap sifat mekanik briket arang. *Jurnal Rekayasa Material*, 9(1), 112–120.
- Sari, D., & Yuliani, E. (2022). Pengaruh proses karbonisasi terhadap kualitas briket biomassa. *Jurnal Teknologi Energi Bersih*, 11(4), 231–239.
- Sukowati, E., Prasetyo, H., & Mulyani, R. (2016). Karakteristik pembakaran briket dari limbah biomassa. *Jurnal Energi Biomassa*, 8(1), 23–30.
- Sukowati, E., Prasetyo, H., & Mulyani, R. (2019). Standar mutu briket biomassa sesuai SNI dan aplikasinya. *Jurnal Energi Terbarukan*, 12(2), 134–142.
- Sulistyaningarti, D., & Utami, R. (2017). Pengaruh variasi perekat terhadap mutu briket biomassa. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 18(1), 65–73.