Jurnal Ilmiah jurutera
Journal of Applied Engineering
ISSN 2356-5438

Characterization of Sugarcane Bagasse–Coconut Shell Biomass Briquettes Using a Damar Resin–Tapioca Starch Composite Binder: Proximate Analysis, Calorific Value, and Combustion Performance

Syamsul Bahri Widodo[1], Zainal Arif *[2], Satriawan Maulana[3]

[1,2)] Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Samudra, Langsa 24416, Indonesia
[3)] Student of Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Samudra, Langsa 24416, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

***Keywoards*:**
sugarcane bagasse;
coconut shell;
biomass briquette;
composite binder;
proximate analysis;
calorific value;
combustion performance

DOI:
doi.org/10.55377/jurutera.v13i01.

A B S T R A C T

The utilization of biomass waste as a renewable energy source offers a sustainable approach to reducing dependence on fossil fuels while increasing the economic value of agro-industrial residues. Sugarcane bagasse is widely available but has relatively low energy characteristics, making it necessary to combine it with high-carbon biomass such as coconut shell. This study investigated the effect of different proportions of sugarcane bagasse charcoal and coconut shell charcoal, bonded with a composite adhesive of damar resin and tapioca starch, on the proximate characteristics, calorific value, and combustion performance of biomass briquettes. An experimental method was employed using five charcoal compositions (90:10, 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50). Briquette characterization included moisture content, ash content, volatile matter, fixed carbon, calorific value measured using a bomb calorimeter, and combustion performance evaluated by measuring flame, container, water, and ambient temperatures with a K-type thermocouple. The results showed that increasing the proportion of coconut shell charcoal increased the calorific value from 6,561.491 cal g^{-1} to 7,119.492 cal g^{-1}, and all briquette compositions satisfied the minimum requirement of SNI 01-6235-2000. The 70:30 composition exhibited the highest heat transfer efficiency, whereas the 90:10 composition produced the highest flame temperature. These findings demonstrate the potential of sugarcane bagasse–coconut shell briquettes as a sustainable alternative solid fuel.

© 2025 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Dikelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Kebutuhan energi primer dunia terus meningkat sebagai konsekuensi dari pertumbuhan jumlah penduduk, ekspansi sektor industri, urbanisasi, dan perkembangan aktivitas ekonomi. Di sisi lain, ketergantungan yang masih tinggi terhadap bahan bakar fosil menyebabkan meningkatnya emisi gas rumah kaca, penurunan kualitas lingkungan, serta percepatan terjadinya perubahan iklim global. Kondisi tersebut mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sumber energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan, berkelanjutan, dan mampu mengurangi ketergantungan pada energi fosil [1–3].

Biomassa merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki prospek besar karena berasal dari limbah organik yang melimpah, mudah diperoleh, dan dapat diperbarui secara alami. Selain berperan sebagai sumber energi alternatif, pemanfaatan biomassa juga memberikan nilai tambah bagi limbah pertanian dan agroindustri yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu bentuk konversi biomassa yang banyak dikembangkan adalah briket biomassa karena memiliki densitas energi lebih tinggi, lebih mudah disimpan dan didistribusikan, serta menghasilkan pembakaran yang lebih stabil dibandingkan dengan biomassa dalam bentuk curah [4–7].

E-mail Coresponden : zainalarif@unsam.ac.id
© 2026 ISSN. 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Di Indonesia, ampas tebu merupakan salah satu limbah agroindustri yang dihasilkan dalam jumlah besar dari proses pengolahan gula. Secara kimia, ampas tebu tersusun atas selulosa, hemiselulosa, dan lignin sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan briket biomassa. Penggunaan ampas tebu sebagai bahan bakar padat secara tunggal masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain kadar abu yang relatif tinggi, kandungan karbon tetap yang rendah, serta nilai kalor yang belum optimal. Karakteristik tersebut menyebabkan proses pembakaran berlangsung kurang stabil sehingga efisiensi energi yang dihasilkan menjadi relatif rendah [8–12].

Sebaliknya, tempurung kelapa dikenal sebagai biomassa dengan kandungan lignin dan karbon tetap yang lebih tinggi dibandingkan dengan sebagian besar limbah pertanian lainnya. Kandungan karbon tetap yang tinggi berkontribusi terhadap peningkatan nilai kalor, pembentukan bara yang lebih stabil, serta durasi pembakaran yang lebih lama. Oleh karena itu, pencampuran arang ampas tebu dengan arang tempurung kelapa diperkirakan mampu menghasilkan briket biomassa dengan karakteristik energi yang lebih baik melalui peningkatan kapasitas energi sekaligus perbaikan karakteristik pembakaran [13–15].

Kualitas suatu briket biomassa tidak hanya ditentukan oleh nilai kalor yang dimilikinya, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik fisik dan kimia bahan bakunya. Analisis proksimat yang meliputi kadar air (moisture content), kadar abu (ash content), volatile matter, dan fixed carbon merupakan parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi mutu bahan bakar biomassa. Keempat parameter tersebut berpengaruh terhadap proses penyalaan, laju pembakaran, pembentukan bara, efisiensi pelepasan energi, serta jumlah residu hasil pembakaran. Selain itu, nilai kalor digunakan untuk menggambarkan kapasitas energi yang dapat dilepaskan selama pembakaran berlangsung sehingga kombinasi analisis proksimat dan nilai kalor menjadi dasar dalam menentukan kualitas suatu briket biomassa [16–19].

Meskipun demikian, karakterisasi laboratorium melalui analisis proksimat dan pengujian nilai kalor belum sepenuhnya mampu merepresentasikan kinerja aktual briket dalam kondisi penggunaan. Selama proses pembakaran, pelepasan energi dipengaruhi oleh interaksi antara kandungan karbon tetap, zat terbang, densitas briket, serta mekanisme perpindahan panas ke media pemanas. Oleh sebab itu, evaluasi performa pembakaran melalui pengukuran temperatur api, temperatur wadah, temperatur air, dan temperatur lingkungan menjadi aspek penting untuk mengetahui efektivitas pemanfaatan energi secara nyata [20,21].

Berbagai penelitian terdahulu telah melaporkan pengaruh komposisi biomassa maupun jenis perekat terhadap karakteristik briket. Akan tetapi, sebagian besar penelitian masih menggunakan perekat tunggal, seperti tepung tapioka atau molases, dan hanya mengevaluasi parameter proksimat atau nilai kalor secara terpisah. Penelitian yang mengombinasikan perekat komposit berbasis getah damar dan tepung tapioka dengan evaluasi menyeluruh terhadap karakteristik proksimat, nilai kalor, serta performa pembakaran pada briket berbahan campuran ampas tebu dan tempurung kelapa masih sangat terbatas. Selain itu, hubungan antara karakteristik proksimat dan distribusi temperatur selama proses pembakaran juga belum banyak dibahas secara komprehensif [22–23].

Penelitian ini dilakukan untuk mengkarakterisasi briket biomassa berbahan campuran arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa menggunakan perekat komposit getah damar dan tepung tapioka melalui analisis proksimat, pengujian nilai kalor, serta evaluasi performa pembakaran. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam menjelaskan hubungan antara komposisi biomassa, karakteristik proksimat, kapasitas energi, dan karakteristik pembakaran, sekaligus memberikan alternatif formulasi briket biomassa dengan kualitas energi yang lebih baik dan berpotensi dikembangkan sebagai bahan bakar padat berkelanjutan.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen laboratorium untuk mengevaluasi pengaruh komposisi ampas tebu dan tempurung kelapa terhadap karakteristik proksimat, nilai kalor, dan performa pembakaran briket biomassa. Variabel bebas berupa komposisi campuran arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa, sedangkan variabel terikat meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter, fixed carbon*, nilai kalor, serta temperatur pembakaran. Variabel kontrol meliputi ukuran partikel, tekanan pengepresan, jenis perekat, temperatur pengeringan, dan waktu pengujian.

2.1 Bahan dan Peralatan

Penelitian ini menggunakan arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa sebagai bahan baku utama briket biomassa, sedangkan getah damar dan tepung tapioka digunakan sebagai perekat komposit. Variasi komposisi arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa terdiri atas lima perlakuan, yaitu 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, dan 50:50 (% berat). Peralatan utama

yang digunakan meliputi furnace untuk proses karbonisasi, ayakan 60 mesh, cetakan briket, oven pengering, *bomb calorimeter, termokopel* kelas tipe K, dan data logger.

2.2 Persiapan Bahan Baku

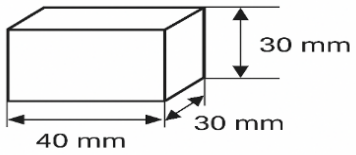
Ampas tebu dan tempurung kelapa dibersihkan dari kotoran, kemudian dikeringkan hingga mencapai kondisi kering udara. Bahan selanjutnya dikarbonisasi menggunakan tungku karbonisasi pada kondisi oksigen terbatas. Arang hasil karbonisasi didinginkan pada suhu ruang, dihancurkan, dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang seragam.

2.3 Pembuatan Briket

Ampas tebu dan tempurung kelapa dikarbonisasi, kemudian arang yang dihasilkan dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan 60 mesh. Arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa dicampur dengan variasi komposisi massa sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 1**. Campuran arang kemudian ditambahkan perekat getah damar dan tepung tapioka hingga homogen, lalu dicetak menggunakan cetakan sesuai dengan dimensi briket seperti pada Gambar 1 dan dipadatkan menggunakan alat pengepresan hidrolik. Briket yang terbentuk dikeringkan dalam oven pada temperatur 105°C hingga mencapai massa konstan.

Tabel 1. Variasi Komposisi Bahan Baku Briket

Kode Sampel	Ampas Tebu (%)	Tempurung Kelapa (%)
K1	90	10
K2	80	20
K3	70	30
K4	60	40
K5	50	50



Gambar 1. Dimensi Briket

2.4 Pengujian Karakteristik Proksimat

Karakteristik proksimat dianalisis untuk menentukan kadar air (moisture content), kadar abu (ash content), volatile matter, dan fixed carbon. Pengujian kadar air dilakukan berdasarkan ASTM D3173, kadar abu berdasarkan ASTM D3174, dan volatile matter berdasarkan ASTM D3175. Nilai fixed carbon dihitung menggunakan metode difference berdasarkan Persamaan (1) [16,20].

$$FC\ (\%) = 100 - (MC + AC + VM) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

dengan: FC = fixed carbon (%); MC = moisture content (%); AC = ash content (%); VM = volatile matter (%)

2.5 Pengujian Nilai Kalor

Nilai kalor briket ditentukan menggunakan *bomb calorimeter* sesuai ASTM D5865. Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai energi yang dihasilkan dari pembakaran sempurna setiap sampel briket [18].

2.6 Pengujian Performa Pembakaran

Performa pembakaran dievaluasi menggunakan sistem pemanasan air yang dilengkapi termokopel kelas tipe K dan data logger. Pengukuran temperatur dilakukan pada empat titik pengamatan, yaitu temperatur api (T1), temperatur wadah pemanas (T2), temperatur air (T3), dan temperatur lingkungan (T4). Data temperatur dicatat setiap 10 menit selama 90 menit pembakaran. Pengamatan dilakukan untuk mengevaluasi pola distribusi panas, kestabilan pembakaran, dan kemampuan transfer energi dari briket ke media pemanas.

2.7 Analisis Data

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dan disajikan dalam bentuk tabel serta grafik. Analisis dilakukan dengan membandingkan karakteristik proksimat, nilai kalor, dan temperatur pembakaran pada setiap variasi komposisi.

Kualitas briket dievaluasi berdasarkan kesesuaiannya terhadap standar mutu briket arang SNI 01-6235-2000. Komposisi optimum ditentukan berdasarkan kombinasi parameter proksimat, nilai kalor, dan performa pembakaran yang memberikan kualitas energi terbaik.

3. Hasil dan Pembahasan

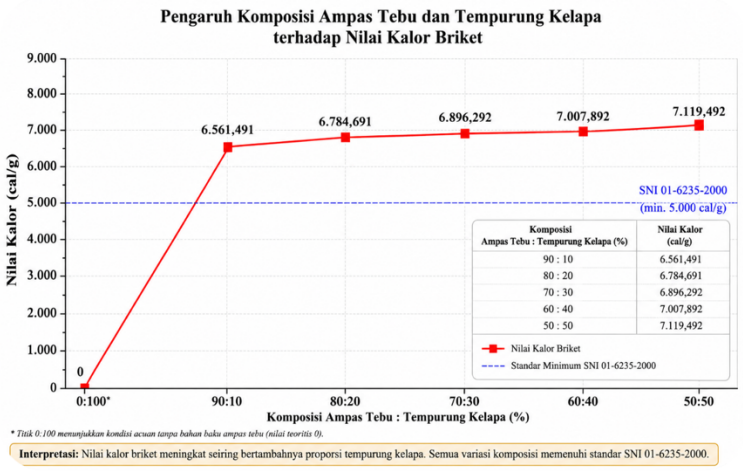
Briket dicetak secara manual menggunakan cetakan hidrolik sesuai dimensi yang telah ditentukan. Hasil briket yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil pembuatan Briket

Nilai kalor merupakan parameter utama yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas energi briket biomassa karena merepresentasikan jumlah energi panas yang dilepaskan melalui pembakaran sempurna. Semakin tinggi nilai kalor yang dimiliki suatu bahan bakar padat, semakin besar pula potensi energi yang dapat dimanfaatkan dalam aplikasi pemanasan. Pengujian nilai kalor pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan komposisi arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa terhadap kemampuan briket dalam menghasilkan energi. Pengujian dilakukan menggunakan bomb calorimeter sesuai ASTM D5865. Data yang diperoleh digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi karakteristik energi setiap komposisi briket [15,16].

Data hasil pengujian pada Gambar 3 menggambarkan adanya kecenderungan peningkatan nilai kalor seiring bertambahnya proporsi tempurung kelapa dalam campuran briket. Sampel dengan komposisi 90% ampas tebu dan 10% tempurung kelapa menghasilkan nilai kalor sebesar 6.561,491 cal/g. Ketika kandungan tempurung kelapa dinaikkan menjadi 20%, nilai kalor meningkat menjadi 6.784,691 cal/g. Tren kenaikan tersebut berlanjut pada komposisi 70:30 dengan nilai kalor 6.896,292 cal/g, kemudian meningkat menjadi 7.007,892 cal/g pada komposisi 60:40, dan mencapai nilai maksimum sebesar 7.119,492 cal/g pada komposisi 50:50. Secara keseluruhan terjadi peningkatan sekitar 558 cal/g atau sekitar 8,5% dibandingkan komposisi awal. Pola ini mengilustrasikan peningkatan fraksi tempurung kelapa memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan kandungan energi briket.



Gambar 3. Grafik Hasil Nilai Kalor pada Briket dari Limbah Ampas Tebu dan Tempurung Kelapa

Perubahan nilai kalor tersebut berkaitan erat dengan karakteristik kimia penyusun kedua biomassa. Tempurung kelapa memiliki kandungan lignin dan karbon tetap (fixed carbon) yang relatif lebih tinggi dibandingkan ampas tebu. Lignin

merupakan senyawa aromatik yang selama proses karbonisasi akan menghasilkan struktur karbon yang lebih stabil. Karbon tetap merupakan fraksi padatan yang menjadi sumber utama pelepasan energi pada saat pembakaran berlangsung. Dengan meningkatnya kandungan karbon tetap di dalam campuran, jumlah energi yang tersimpan pada briket juga meningkat sehingga menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi. Ampas tebu cenderung mengandung mineral anorganik yang lebih banyak sehingga kadar abu yang dihasilkan relatif lebih tinggi. Keberadaan abu tersebut tidak memberikan kontribusi terhadap pembentukan energi, bahkan dapat menyerap sebagian panas selama pembakaran sehingga menurunkan nilai kalor efektif yang dihasilkan. Kondisi tersebut menjelaskan mengapa penambahan tempurung kelapa secara bertahap mampu meningkatkan kualitas energi briket.

Kenaikan nilai kalor pada setiap variasi komposisi tidak menginformasikan pola linier yang sempurna. Peningkatan paling besar terjadi ketika proporsi tempurung kelapa dinaikkan dari 10% menjadi 20%, sedangkan pada komposisi berikutnya laju kenaikan cenderung lebih kecil dan relatif konstan. Fenomena tersebut mengindikasikan bahwa setelah kandungan tempurung kelapa mencapai kisaran tertentu, sistem campuran mulai memasuki kondisi yang lebih stabil sehingga tambahan tempurung kelapa berikutnya hanya memberikan peningkatan energi dalam jumlah terbatas. Karakteristik seperti ini umum dijumpai pada bahan bakar biomassa campuran karena nilai kalor tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan karbon tetap, tetapi juga oleh interaksi antara kadar abu, kadar air, zat terbang (volatile matter), serta struktur pori arang hasil karbonisasi yang memengaruhi efisiensi proses pembakaran.

Hasil penelitian ini memperlihatkan kesesuaian dengan berbagai penelitian terdahulu mengenai karakteristik energi biomassa. Obi et al. (2022) menjelaskan bahwa kualitas energi briket sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon tetap, kadar abu, dan jenis bahan baku yang digunakan. Biomassa dengan kandungan karbon tinggi umumnya menghasilkan nilai kalor yang lebih besar karena memiliki energi kimia yang lebih tinggi untuk dilepaskan selama proses oksidasi. [24]

Penelitian Marreiro et al. (2021) juga menyatakan bahwa peningkatan kualitas karbon hasil karbonisasi merupakan faktor dominan yang menentukan kenaikan nilai kalor pada briket biomassa [25]. Yirijor dan Bere (2024) meneliti bahwa tempurung kelapa merupakan salah satu biomassa dengan karakteristik energi yang sangat baik karena menghasilkan karbon tetap tinggi, nilai kalor besar, dan kestabilan pembakaran yang lebih baik dibandingkan banyak limbah pertanian lainnya[26]. Kesamaan kecenderungan antara penelitian ini dengan hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan proporsi tempurung kelapa memberikan pengaruh positif terhadap performa energi briket.

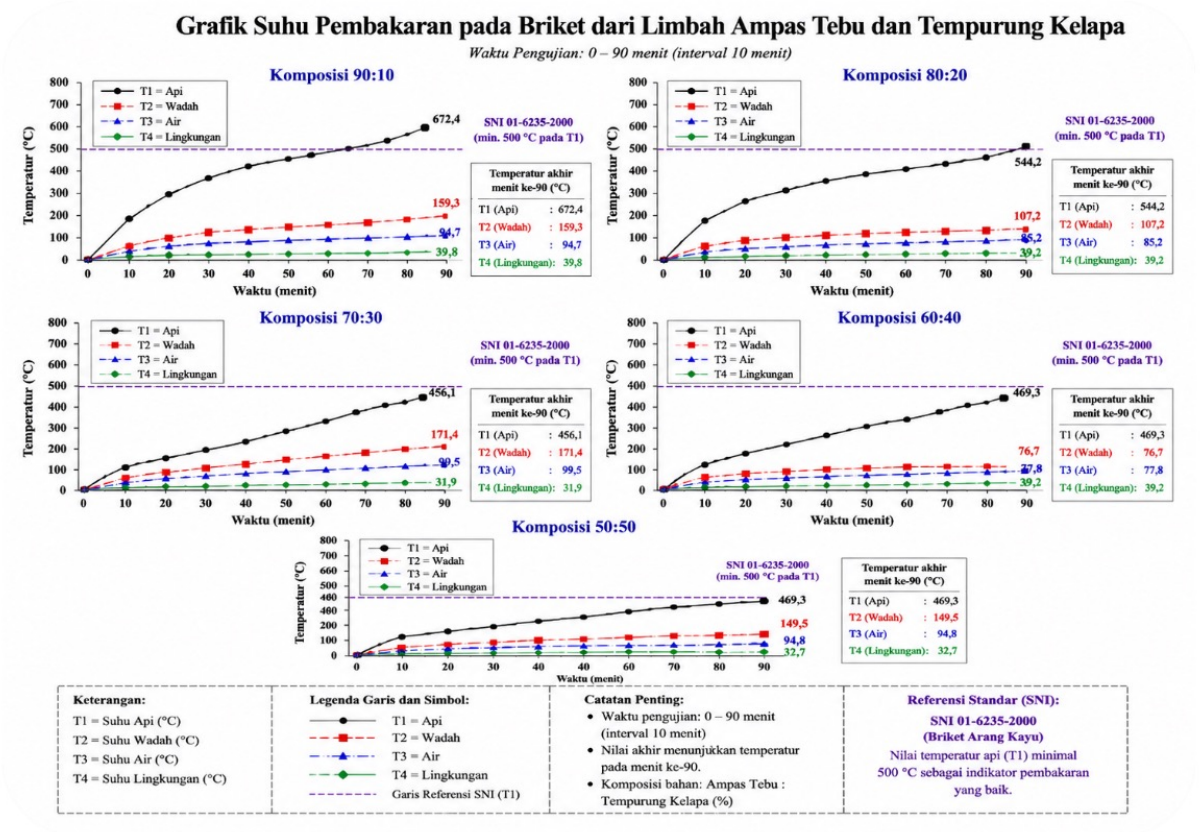
Persyaratan mutu yang ditetapkan dalam SNI 01-6235-2000, seluruh variasi komposisi yang diuji telah memenuhi batas minimum nilai kalor sebesar 5.000 cal/g. Komposisi dengan nilai kalor terendah sekalipun, energi yang dihasilkan masih berada jauh di atas nilai ambang tersebut. Proses pembuatan briket yang diterapkan pada penelitian ini, mulai dari karbonisasi bahan baku, penghalusan hingga ukuran 60 mesh, pencampuran perekat getah damar dan tepung tapioka, proses pengepresan hidrolik, hingga pengeringan pada suhu 105°C, telah mampu menghasilkan briket dengan kualitas energi yang memenuhi standar nasional. Variasi komposisi yang diterapkan tidak hanya meningkatkan nilai kalor, tetapi juga menghasilkan produk yang layak digunakan sebagai bahan bakar padat alternatif.

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pencampuran ampas tebu dan tempurung kelapa merupakan pendekatan yang efektif dalam meningkatkan kualitas energi biomassa. Pada pendahuluan telah dijelaskan bahwa ampas tebu memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan, tetapi masih memiliki keterbatasan berupa nilai kalor yang relatif lebih rendah serta kandungan abu yang cukup tinggi. Tempurung kelapa dikenal memiliki kandungan karbon tetap yang tinggi sehingga mampu memperbaiki karakteristik termal bahan bakar biomassa. Hasil penelitian ini membuktikan bahwa kombinasi kedua bahan tersebut mampu menghasilkan briket dengan kualitas energi yang lebih baik dibandingkan penggunaan ampas tebu secara dominan. Temuan ini mendukung upaya pemanfaatan limbah agroindustri sebagai sumber energi alternatif sekaligus memperkuat konsep ekonomi sirkular melalui peningkatan nilai tambah limbah pertanian.

Selain menunjukkan peningkatan kualitas energi, hasil pengujian nilai kalor juga memberikan gambaran mengenai performa pembakaran yang akan diamati pada tahap berikutnya. Briket dengan nilai kalor yang lebih tinggi diperkirakan akan menghasilkan temperatur api yang lebih tinggi, waktu pembakaran yang lebih lama, serta perpindahan panas yang lebih efektif menuju media pemanas. Data nilai kalor yang diperoleh pada penelitian ini menjadi dasar untuk menjelaskan

karakteristik temperatur pembakaran pada setiap variasi komposisi. Hubungan tersebut menginterpretasikan bahwa parameter nilai kalor, analisis proksimat, dan performa pembakaran merupakan komponen yang saling berkaitan dalam menentukan kualitas keseluruhan suatu briket biomassa.

Hasil pengujian menjelaskan bahwa peningkatan proporsi tempurung kelapa memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai kalor briket. Komposisi 50% ampas tebu dan 50% tempurung kelapa menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 7.119,492 cal/g, sedangkan seluruh variasi komposisi memenuhi persyaratan mutu berdasarkan SNI 01-6235-2000. Penambahan tempurung kelapa terbukti mampu meningkatkan kualitas energi briket sehingga berpotensi menghasilkan bahan bakar biomassa yang lebih efisien, stabil, dan layak dikembangkan sebagai salah satu alternatif energi terbarukan.



Gambar 4. Karakteristik Performa Pembakaran Briket untuk setiap komposisi

Pengaruh Variasi Komposisi Ampas Tebu dan Tempurung Kelapa terhadap Karakteristik Performa Pembakaran Briket dapat dilihat pada Gambar 4. Pengujian performa pembakaran dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik pelepasan energi dari setiap variasi komposisi briket selama proses pembakaran. Berbeda dengan pengujian nilai kalor yang hanya menggambarkan besarnya energi yang tersimpan di dalam bahan bakar, pengujian performa pembakaran memberikan informasi mengenai kemampuan briket menghasilkan nyala api, mempertahankan kestabilan pembakaran, serta mentransfer energi panas menuju media pemanas. Parameter temperatur api (T1), temperatur wadah (T2), temperatur air (T3), dan temperatur lingkungan (T4) diamati secara simultan sehingga mekanisme pembangkitan dan distribusi panas dapat dievaluasi secara menyeluruh. Pengukuran dilakukan menggunakan termokopel kelas tipe K yang terhubung dengan data logger selama 90 menit dengan interval pencatatan setiap 10 menit sesuai prosedur pengujian yang telah dijelaskan pada bagian metode penelitian.

Variasi komposisi secara keseluruhan menggambarkan pola perubahan temperatur yang serupa, yaitu temperatur api mengalami kenaikan yang cepat pada fase awal pembakaran, kemudian meningkat secara lebih lambat hingga akhir pengujian. Sebaliknya, temperatur wadah dan temperatur air meningkat secara bertahap dengan kecenderungan yang lebih

landai. Pola pembakaran biomassa berlangsung melalui dua tahapan utama. Tahap pertama merupakan pembakaran senyawa volatil (volatile combustion) yang menghasilkan nyala api dengan intensitas tinggi akibat pelepasan gas-gas mudah terbakar. Setelah sebagian besar zat terbang habis terbakar, proses pembakaran beralih menjadi pembakaran karbon tetap (char combustion), yaitu tahap ketika energi dilepaskan secara lebih perlahan melalui oksidasi karbon padat. Pergeseran mekanisme pembakaran ini menyebabkan temperatur api mulai stabil. Sedangkan temperatur wadah dan temperatur air masih terus meningkat karena energi panas tetap ditransfer menuju media pemanas.

Komposisi 90% ampas tebu dan 10% tempurung kelapa menghasilkan temperatur api maksimum sebesar 672,4°C, yang merupakan nilai tertinggi di antara seluruh variasi komposisi. Temperatur wadah mencapai 159,3°C, temperatur air sebesar 94,7°C, temperatur lingkungan berada pada kisaran 39,8°C. Temperatur api yang diperoleh telah melampaui temperatur acuan pembakaran briket yang direkomendasikan dalam SNI 01-6235-2000, sehingga proses pembakaran berlangsung dengan intensitas yang sangat baik.

Fenomena ini mengindikasikan pelepasan energi pada komposisi tersebut berlangsung sangat cepat selama fase awal pembakaran. Dominasi arang ampas tebu diduga menyebabkan kandungan zat terbang yang masih tersisa setelah proses karbonisasi relatif lebih tinggi dibandingkan variasi komposisi lainnya. Ketika temperatur penyalaan tercapai, fraksi volatil mengalami proses devolatilisasi dan menghasilkan gas-gas mudah terbakar seperti karbon monoksida, hidrogen, dan hidrokarbon ringan. Gas-gas tersebut segera bereaksi dengan oksigen sehingga menghasilkan nyala api dengan temperatur tinggi. Tingginya temperatur api pada komposisi ini lebih mencerminkan tingginya laju pelepasan energi (heat release rate), bukan besarnya energi total yang dimiliki bahan bakar.

Interpretasi tersebut sejalan dengan teori pembakaran biomassa yang dikemukakan oleh Obi et al. (2022), yang menjelaskan bahwa biomassa dengan kandungan volatile matter tinggi cenderung menghasilkan nyala api yang lebih intensif pada fase awal pembakaran. Kondisi tersebut tidak selalu menghasilkan waktu pembakaran yang lebih lama karena sebagian besar energi dilepaskan dalam waktu yang relatif singkat [24].

Pada komposisi 80:20, temperatur api maksimum menurun menjadi 544,2°C, temperatur wadah dan temperatur air masing-masing mencapai 107,2°C dan 85,2°C. Penurunan temperatur api sekitar 19% dibandingkan komposisi sebelumnya menginformasikan bahwa peningkatan proporsi tempurung kelapa mulai memengaruhi mekanisme pembakaran.

Tempurung kelapa diketahui memiliki kandungan lignin dan karbon tetap yang lebih tinggi sehingga struktur arang yang terbentuk menjadi lebih padat dan stabil. Struktur karbon yang lebih stabil memerlukan waktu oksidasi yang lebih lama sehingga pelepasan energi tidak lagi berlangsung secara eksplosif sebagaimana pada pembakaran senyawa volatil, melainkan berlangsung secara bertahap melalui pembakaran bara. Temperatur api maksimum menjadi lebih rendah walaupun energi yang tersimpan di dalam bahan bakar sebenarnya meningkat. Fenomena tersebut menyatakan bahwa peningkatan kandungan karbon tetap tidak selalu diikuti oleh peningkatan temperatur api, tetapi lebih berpengaruh terhadap kestabilan pembakaran.

Komposisi 70:30, karakteristik yang berbeda dibandingkan variasi lainnya. Temperatur api maksimum hanya mencapai 456,1°C, namun temperatur wadah meningkat hingga 171,4°C, sedangkan temperatur air mencapai 99,5°C, mendekati titik didih. Kondisi ini menyatakan intensitas nyala api lebih rendah, energi panas yang dihasilkan justru lebih efektif dimanfaatkan untuk memanaskan media.

Secara termal, efisiensi perpindahan panas pada komposisi 70:30 lebih tinggi dibandingkan variasi lainnya. Pelepasan energi yang berlangsung secara bertahap menyebabkan kontak antara nyala api dengan dasar wadah berlangsung lebih lama sehingga panas yang ditransfer melalui mekanisme radiasi dan konveksi menjadi lebih besar. Setelah diterima oleh wadah logam, energi kemudian diteruskan menuju air melalui konduksi sehingga temperatur air meningkat secara signifikan. Temperatur api yang tinggi tidak selalu identik dengan efisiensi pemanasan yang tinggi. Komposisi ini sebagian besar energi hasil pembakaran berhasil dimanfaatkan oleh sistem sehingga kehilangan panas menuju lingkungan menjadi lebih kecil. Penilaian kualitas briket tidak cukup hanya didasarkan pada temperatur api atau nilai kalor, tetapi juga harus mempertimbangkan efisiensi transfer energi menuju media pemanas.

Pada komposisi 60:40, temperatur api maksimum sebesar 469,3°C, sedangkan temperatur wadah dan temperatur air masing-masing mencapai 76,7°C dan 77,8°C. Sementara itu, komposisi 50:50 menghasilkan temperatur api yang hampir sama (469,3°C), tetapi temperatur wadah meningkat menjadi 149,5°C dan temperatur air mencapai 94,8°C.

Apabila hasil tersebut dibandingkan dengan pengujian nilai kalor, terlihat bahwa komposisi 50:50 justru memiliki nilai kalor tertinggi, yaitu 7.119,492 cal/g. Kondisi ini sekilas tampak bertentangan karena temperatur api maksimum tidak menjadi yang tertinggi. Secara ilmiah fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui perbedaan antara kapasitas energi dan karakteristik pelepasan energi.

Nilai kalor merupakan jumlah energi maksimum yang dapat dilepaskan saat pembakaran berlangsung sempurna, sedangkan temperatur api dipengaruhi oleh kecepatan energi tersebut dilepaskan selama proses pembakaran. Briket yang memiliki kandungan karbon tetap tinggi menyimpan energi dalam struktur karbon yang lebih stabil sehingga oksidasi berlangsung lebih lambat. Energi dilepaskan secara bertahap dalam bentuk pembakaran bara (glowing combustion) yang menghasilkan temperatur api lebih rendah tetapi durasi pembakaran lebih panjang. Sebaliknya, kandungan zat terbang yang lebih tinggi menghasilkan pembakaran nyala (flaming combustion) yang cepat sehingga temperatur api meningkat tajam walaupun energi totalnya lebih kecil.

Fenomena ini memperlihatkan bahwa peningkatan proporsi tempurung kelapa mengubah mekanisme pelepasan energi dari pembakaran yang didominasi nyala api menuju pembakaran bara yang lebih stabil. Peningkatan nilai kalor akibat penambahan tempurung kelapa tidak selalu diikuti oleh peningkatan temperatur api, tetapi menghasilkan kestabilan pembakaran yang lebih baik.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Marreiro et al. (2021) yang melaporkan bahwa peningkatan kandungan karbon tetap akibat karbonisasi meningkatkan stabilitas pembakaran dan memperpanjang durasi pelepasan energi, meskipun intensitas nyala api cenderung menurun. Demikian pula Obi et al. (2022) menjelaskan bahwa kualitas pembakaran biomassa merupakan hasil interaksi antara kandungan karbon tetap, zat terbang, kadar abu, densitas briket, serta mekanisme perpindahan panas sehingga temperatur nyala tidak selalu berbanding lurus dengan nilai kalor [24,25].

Penelitian ini memberikan temuan yang sedikit berbeda dengan penelitian sebelumnya, karena pada komposisi 70:30 menghasilkan temperatur wadah dan temperatur air tertinggi. Hal tersebut mengindikasikan bahwa komposisi tersebut memiliki efisiensi pemanfaatan energi yang lebih baik dibandingkan komposisi lainnya. Temuan ini memperlihatkan bahwa evaluasi kualitas briket sebaiknya tidak hanya didasarkan pada karakteristik bahan baku, tetapi juga mempertimbangkan efektivitas transfer panas selama aplikasi nyata.

Hasil pengujian performa pembakaran mengilustrasikan bahwa variasi komposisi ampas tebu dan tempurung kelapa tidak hanya memengaruhi besarnya energi yang tersimpan di dalam briket, tetapi juga memengaruhi mekanisme pelepasan energi dan efisiensi pemanfaatannya selama proses pembakaran. Komposisi 90:10 menghasilkan nyala api dengan temperatur tertinggi. Sedangkan komposisi 50:50 memiliki kapasitas energi terbesar berdasarkan hasil pengujian nilai kalor. Untuk komposisi 70:30 memberikan efisiensi transfer panas terbaik menuju media pemanas. Pemilihan komposisi optimum harus mempertimbangkan tujuan penggunaan briket, apakah lebih mengutamakan intensitas nyala, kapasitas energi, atau efisiensi pemanasan. Pendekatan evaluasi yang mengintegrasikan analisis proksimat, nilai kalor, dan performa pembakaran sebagaimana dilakukan pada penelitian ini memberikan dasar yang lebih komprehensif dalam menentukan kualitas briket biomassa sebagai bahan bakar alternatif.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengevaluasi karakteristik briket biomassa berbahan campuran arang ampas tebu dan arang tempurung kelapa dengan menggunakan perekat komposit getah damar dan tepung tapioka melalui analisis proksimat, pengujian nilai kalor, serta pengujian performa pembakaran. Variasi komposisi bahan baku terbukti memengaruhi karakteristik fisik dan termal briket, yang ditunjukkan oleh perubahan kadar air, kadar abu, volatile matter, fixed carbon, nilai kalor, dan distribusi temperatur selama proses pembakaran. Seluruh sampel briket yang dihasilkan memenuhi persyaratan mutu minimum berdasarkan SNI 01-6235-2000, sehingga berpotensi digunakan sebagai bahan bakar padat alternatif berbasis biomassa. Peningkatan proporsi tempurung kelapa memberikan kecenderungan meningkatnya kualitas energi briket, terutama melalui peningkatan kandungan karbon tetap dan nilai kalor. Komposisi arang ampas tebu dan tempurung kelapa 50:50 menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 7.119,492 cal/g. Sedangkan komposisi 70:30 menggambarkan performa pembakaran yang lebih efektif berdasarkan distribusi temperatur wadah dan temperatur air selama proses pemanasan. Parameter nilai kalor tidak dapat dijadikan satu-satunya dasar dalam menentukan kualitas briket, karena karakteristik pembakaran dipengaruhi pula oleh sifat proksimat dan mekanisme perpindahan panas yang terjadi selama proses pembakaran. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan perekat komposit getah damar dan tepung tapioka dalam pembuatan briket biomassa berbahan campuran ampas tebu dan tempurung kelapa, serta pada pendekatan

evaluasi yang mengintegrasikan analisis proksimat, nilai kalor, dan performa pembakaran. Pendekatan tersebut memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai hubungan antara karakteristik bahan baku dan perilaku pembakaran, sehingga dapat menjadi dasar dalam pengembangan briket biomassa dengan kualitas energi yang lebih baik. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji pengaruh variasi komposisi perekat, kondisi karbonisasi, tekanan pencetakan, serta karakteristik mekanik dan emisi gas hasil pembakaran. Pengembangan aspek-aspek tersebut diharapkan dapat meningkatkan performa briket biomassa sekaligus mendukung pemanfaatannya sebagai sumber energi terbarukan yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

1. International Energy Agency. World Energy Outlook 2024. Paris: IEA; 2024.
2. Calvin K, Dasgupta D, Krinner G, et al. IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IP…. Arias P, Bustamante M, Elgizouli I, et al., eds. Published online July 25, 2023. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
3. Ugah ETA, Ndubuisi ProfOG, Ali EngrPSE, et al. RENEWABLE ENERGY AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT: EMERGING TRENDS AND TECHNOLOGIES. IPHO-Journal of Advance Research in Science And Engineering . 2025;3(02):16-30. Accessed July 4, 2026. https://iphopen.org/index.php/se/article/view/267.
4. Bot BV, Axaopoulos PJ, Sakellariou EI, Sosso OT, Tamba JG. Energetic and economic analysis of biomass briquettes production from agricultural residues. Appl Energy. 2022;321:119430. doi:10.1016/J.APENERGY.2022.119430.
5. Rawat S, Kumar S. Critical review on processing technologies and economic aspect of bio-coal briquette production. Prep Biochem Biotechnol. 2022;52(8):855-871. doi:10.1080/10826068.2021.2001754.
6. Kaur J, Kaur P, Taggar MS. Biomass Energy: An Introduction. Biomass Energy for Sustainable Development. Published online January 1, 2024:1-19. doi:10.1201/9781003406501-1/BIOMASS-ENERGY-JASPREET-KAUR-PARDEEP-KAUR-MONICA-SACHDEVA-TAGGAR.
7. Widodo SB, Arif Z, Yakob I, Suheri S, Sembiring DM. Study of Utilization of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) as Environmentally Friendly Bio-Briquettes: Experimental Study. IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA). 2025;4(1):48-58. doi:10.56862/IRAJTMA.V4I1.193.
8. Z. Arif, Husaini, N. Ali, and S. Mulyati, Study on Mechanical Properties of Composite Polymeric Foams Reinforced by Bagasse Fibers, in IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019, vol. 536, no. 1. doi: 10.1088/1757-899X/536/1/012023.
9. Walozi R, Onep GS, Sanusi YS, et al. A comprehensive review of chemical treatments for biomass feedstock to enhance briquette characteristics. Discover Sustainability 2026 7:1. 2026;7(1):717-. doi:10.1007/S43621-026-03045-8
10. Zhang Y, Ding Z, Shahadat Hossain M, et al. RETRACTED: Recent advances in lignocellulosic and algal biomass pretreatment and its biorefinery approaches for biochemicals and bioenergy conversion. Bioresour Technol. 2023;367:128281. doi:10.1016/J.BIORTECH.2022.128281.
11. Awasthi S, Mishra A, Singh R, Pal DB. Food Waste Materials for Bioenergy Production. Published online 2023:203-226. doi:10.1007/978-981-99-0526-3_9.
12. Dharmegowda IY, Muniyappa LM, Siddalingaiah P, Suresh AB, Gowdru Chandrashekarappa MP, Prakash C. MgO Nano-Catalyzed Biodiesel Production from Waste Coconut Oil and Fish Oil Using Response Surface Methodology and Grasshopper Optimization. Sustainability 2022, Vol 14, Page 11132. 2022;14(18):11132. doi:10.3390/SU141811132
13. Waluyo J, Setianto M, Safitri N, Pranolo S. Characterization of biochar briquettes from coconut shell with the effect of binder: molasses, cow manure and horse manure. Published online 2023. Accessed July 4, 2026. https://catalog.lib.kyushu-u.ac.jp/opac_download_md/6782158/p539-545.pdf.
14. Edun BM, Ajayi OO, Afolalu SA, Kayode JF, Ogundipe AT, Fajugbagbe AA. Utilization of Agro-Waste Materials as Viable Strengthening Agents in Carburisation: Review. International Conference on Science, Engineering and Business for Driving Sustainable Development Goals, SEB4SDG 2024. Published online 2024. doi:10.1109/SEB4SDG60871.2024.10629809.

15. Wang Y, et al. Proximate analysis and combustion... - Google Scholar. Accessed July 4, 2026. https://scholar.google.com/scholar?hl=en&as_sdt=0%2C5&q=Wang+Y%2C+et+al.+Proximate+analysis+and+combustion+characteristics+of+biomass+briquettes.+Fuel.+2024&btnG=

16. Wang X, Ma T, Sun J, et al. Experimental study on combustion characteristics of volatiles and residual solids in ammonia co-firing with biomass pellets. Energy. 2025;339:138992. doi:10.1016/J.ENERGY.2025.138992

17. Singh AK, Chakraborty JP. Torrefaction of woody biomass (Acacia nilotica) in fluidized bed reactor: study of solid fuel properties. Biomass Conversion and Biorefinery 2025 15:14. 2025;15(14):21027-21044. doi:10.1007/S13399-025-06655-W18. Qiu Z, et al. Influence of proximate properties on heat release characteristics of biomass briquettes. Energy Convers Manag. 2023.

19. Han P, Liu Z, Luan J, Xie K, Zhang Y. Experimental study on microwave heating performances of soybean straw briquettes. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2025;47(2). doi:10.1080/15567036.2025.2576529.

20. Guo N, Xu L, Gao W, Xia H, Xie M, Ren X. Progress in the Application of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Coal Quality Analysis. Energies 2024, Vol 17, Page 3559. 2024;17(14):3559. doi:10.3390/EN17143559

21. Wu M, Wei K, Jiang J, Xu B Bin, Ge S. Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. International Journal of Coal Science & Technology 2025 12:1. 2025;12(1):44-. doi:10.1007/S40789-025-00779-0.

22. Kebede T, Berhe DT, Zergaw Y. Combustion Characteristics of Briquette Fuel Produced from Biomass Residues and Binding Materials. Journal of Energy. 2022;2022(1):4222205. doi:10.1155/2022/4222205

23. Majid A, Dwi Anggono A, Adi Siswanto W, et al. Design and Construction of a Mixing Machine in the Process of Manufacturing Coconut Shell Charcoal Briquettes. Engineering Proceedings 2025, Vol 84, Page 28. 2025;84(1):28. doi:10.3390/ENGPROC2025084028.

24. Obi OF, Pecenka R, Clifford MJ. A review of biomass briquette binders and quality parameters. mdpi.comOF Obi, R Pecenka, MJ CliffordEnergies, 2022•mdpi.com. 2022;15(7). doi:10.3390/EN15072426.

25. Marreiro HMP, Peruchi RS, Lopes RMBP, Andersen SLF, Eliziário SA, Junior PR. Empirical studies on biomass briquette production: A literature review. mdpi.comHMP Marreiro, RS Peruchi, RMBP Lopes, SLF Andersen, SA Eliziário, P Rotella JuniorEnergies, 2021•mdpi.com. 2021;14(24). doi:10.3390/EN14248320.

26. Yirijor J, Bere AAT. Production and characterization of coconut shell charcoal-based bio-briquettes as an alternative energy source for rural communities. cell.comJ Yirijor, AAT BereHeliyon, 2024•cell.com. 2024;10(16). doi:10.1016/J.HELIYON.2024.E35717.