



Evaluasi Komprehensif Kualitas Briket dari Arang Tempurung Kelapa dan Campuran Serbuk Gergaji Sengon Terkarbonisasi/Tidak Terkarbonisasi

Dimas Ficky Hidayat^{1*}, Yeyen Maryani², Eka Sari³

¹⁻³ Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang, Indonesia

*Penulis Korespondensi: dimasfickyhidayat@gmail.com

Abstract. *This study comprehensively evaluates the quality of biomass briquettes produced from blends of coconut shell charcoal and sengon sawdust, using both carbonized and non-carbonized materials. Composite briquettes were fabricated with varying compositions and characterized through proximate analysis, calorific value, density, and burning rate measurements to determine their suitability as solid fuel. The results indicate that adding non-carbonized sawdust increases volatile matter content and burning rate but reduces the calorific value of the briquettes. In contrast, incorporating up to 10% carbonized sawdust significantly improves the calorific value to 6119.2 cal/g, approaching that of pure coconut shell charcoal (6352.2 cal/g), while maintaining a relatively high burning rate. Briquettes containing carbonized sawdust also exhibit low ash content, below 3%, and moisture content under 8%, meeting standard solid fuel quality requirements. These findings demonstrate that a strategic combination of carbonized and non-carbonized materials can produce hybrid biomass briquettes with optimized thermal performance, providing a promising, sustainable, and environmentally friendly alternative fuel for domestic and industrial applications.*

Keywords: *Biomass Briquette; Calorific Value; Coconut Shell Charcoal; Renewable Energy; Sengon Sawdust.*

Abstrak. Studi ini secara komprehensif mengevaluasi kualitas briket biomassa yang dihasilkan dari campuran arang tempurung kelapa dan serbuk gergaji sengon, menggunakan bahan yang dikarbonisasi dan tidak dikarbonisasi. Briket komposit dibuat dengan komposisi yang bervariasi dan dikarakterisasi melalui analisis proksimat, nilai kalor, densitas, dan pengukuran laju pembakaran untuk menentukan kesesuaiannya sebagai bahan bakar padat. Hasil menunjukkan bahwa penambahan serbuk gergaji yang tidak dikarbonisasi meningkatkan kandungan zat mudah menguap dan laju pembakaran tetapi mengurangi nilai kalor briket. Sebaliknya, penambahan hingga 10% serbuk gergaji yang dikarbonisasi secara signifikan meningkatkan nilai kalor menjadi 6119,2 kal/g, mendekati nilai kalor arang tempurung kelapa murni (6352,2 kal/g), sambil mempertahankan laju pembakaran yang relatif tinggi. Briket yang mengandung serbuk gergaji yang dikarbonisasi juga menunjukkan kandungan abu yang rendah, di bawah 3%, dan kandungan air di bawah 8%, memenuhi persyaratan kualitas bahan bakar padat standar. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi strategis antara material yang dikarbonisasi dan yang tidak dikarbonisasi dapat menghasilkan briket biomassa hibrida dengan kinerja termal yang optimal, sehingga memberikan bahan bakar alternatif yang menjanjikan, berkelanjutan, dan ramah lingkungan untuk aplikasi domestik dan industri.

Kata kunci: Arang Tempurung Kelapa; Briket Biomassa; Energi Terbarukan; Nilai Kalor; Serbuk Gergaji Sengon.

1. LATAR BELAKANG

Ketergantungan global yang berkelanjutan terhadap bahan bakar fosil, bersamaan dengan meningkatnya akumulasi limbah biomassa, telah menjadi tantangan krusial dalam transisi menuju sistem energi berkelanjutan (Francioso, 2024). Kondisi ini menuntut pengembangan sumber energi alternatif yang tidak hanya terbarukan dan ramah lingkungan, tetapi juga berbasis pada pemanfaatan sumber daya lokal. Dalam konteks tersebut, briket biomassa yang berasal dari limbah pertanian dan kehutanan dipandang sebagai opsi strategis karena karakteristiknya yang relatif netral karbon serta kemampuannya dalam mengurangi dampak lingkungan akibat pengelolaan limbah yang tidak optimal (Lestari, 2021).

Tempurung kelapa dan serbuk gergaji kayu sengon (*Albizia chinensis*) merupakan jenis limbah biomassa yang tersedia melimpah di Indonesia dan memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi (Nurhilal & Suryaningsih, 2017). Arang tempurung kelapa dikenal memiliki nilai kalor dan kandungan karbon tetap yang tinggi, sehingga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan densitas energi briket. Sebaliknya, serbuk gergaji sengon, khususnya dalam kondisi non-terkarbonisasi, berperan dalam meningkatkan kemudahan penyalaan awal serta menjaga stabilitas proses pembakaran. Oleh karena itu, penggabungan kedua material tersebut berpotensi menghasilkan briket biomassa dengan karakteristik pembakaran yang lebih seimbang dan efisien.

Meskipun penelitian terkait briket biomassa telah dilaporkan secara luas, sebagian besar studi masih berfokus pada penggunaan bahan baku tunggal atau campuran dengan perlakuan yang homogen, baik sepenuhnya terkarbonisasi maupun non-terkarbonisasi. Kajian yang mengeksplorasi integrasi material terkarbonisasi dan non-terkarbonisasi dalam satu sistem briket masih relatif terbatas. Padahal, pendekatan hibrida ini berpotensi menghasilkan efek sinergis, di mana proses karbonisasi meningkatkan nilai kalor dan kandungan karbon tetap, sementara fraksi non-terkarbonisasi dapat memperbaiki karakteristik penyalaan awal serta mengendalikan laju pembakaran. Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi secara komprehensif kualitas briket biomassa yang dihasilkan dari campuran arang tempurung kelapa dengan serbuk gergaji sengon terkarbonisasi dan non-terkarbonisasi. Evaluasi dilakukan terhadap sifat fisikokimia, nilai kalor, dan karakteristik pembakaran (Nurhilal & Suryaningsih, 2017). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan briket biomassa hibrida berkinerja tinggi, memenuhi standar mutu nasional, serta mendukung pemanfaatan limbah biomassa secara berkelanjutan dan percepatan transisi energi.

2. METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas tempurung kelapa, serbuk gergaji kayu sengon (*Albizia chinensis*), pati tapioka sebagai bahan pengikat (binder), dan air suling. Seluruh bahan diperoleh dari sumber lokal di Kabupaten Lumajang, Jawa Timur, Indonesia, guna merepresentasikan potensi pemanfaatan biomassa lokal.

Peralatan utama yang digunakan meliputi tungku karbonisasi, mesin pencetak briket hidrolik, oven pengering (Memmert UF110), tanur mufel (Nabertherm L5/11), kalorimeter

bom (PARR 6200), neraca analitik (Ohaus Pioneer), ayakan mekanik berukuran 70 mesh, serta peralatan gelas laboratorium standar.

Preparasi Briket

Tempurung kelapa dan serbuk gergaji sengon terlebih dahulu dikeringkan melalui penjemuran selama 48 jam, kemudian dilanjutkan dengan pengeringan dalam oven pada suhu 105 °C selama 2 jam untuk menurunkan kadar air awal. Tempurung kelapa selanjutnya dikarbonisasi menggunakan tungku drum tertutup pada suhu 400 °C dengan waktu penahanan selama 60 menit.

Serbuk gergaji sengon dipisahkan menjadi dua fraksi, yaitu fraksi yang mengalami proses karbonisasi dengan kondisi yang sama seperti tempurung kelapa, serta fraksi tanpa perlakuan karbonisasi. Seluruh material, baik terkarbonisasi maupun non-terkarbonisasi, kemudian digiling dan diayak hingga diperoleh ukuran partikel seragam sebesar 70 mesh.

Bahan pengikat disiapkan dengan memanaskan campuran pati tapioka dan air pada perbandingan 1:10 (b/v) pada suhu 70 °C sambil diaduk secara kontinu hingga terbentuk gel homogen. Campuran bahan baku disusun berdasarkan perbandingan massa sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, kemudian ditambahkan bahan pengikat sebesar 10% (b/b). Campuran tersebut dipadatkan menggunakan mesin press hidrolik pada tekanan 100 kg/cm² selama 15 menit. Briket yang terbentuk kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam dan disimpan dalam wadah kedap udara sebelum dilakukan pengujian lebih lanjut.

Analisis Kualitas Briket

Analisis proksimat dilakukan mengacu pada standar ASTM yang meliputi penentuan kadar air (ASTM D3173), kadar abu (ASTM D3174), dan kadar zat terbang (volatile matter) (ASTM D3175). Kadar air ditentukan melalui pengeringan pada suhu 105 °C hingga berat konstan (Nuryawan et al., 2025), sedangkan kadar abu dianalisis melalui pembakaran sampel dalam tanur mufel pada suhu 750 °C selama 4 jam (Nuryawan et al., 2025). Kadar zat terbang ditentukan dengan pemanasan sampel pada suhu 950 °C selama 7 menit dalam kondisi tanpa suplai udara (Rahmawati et al., 2023). Kandungan karbon tetap (fixed carbon) dihitung secara tidak langsung menggunakan metode selisih, yaitu 100% dikurangi jumlah kadar air, kadar abu, dan kadar zat terbang (Inegbedion, 2022).

Selain analisis proksimat, parameter lain yang dievaluasi meliputi densitas briket, nilai kalor, dan laju pembakaran. Densitas briket ditentukan secara geometrik berdasarkan rasio

massa terhadap volume, nilai kalor diukur menggunakan kalorimeter bom (PARR 6200), sedangkan laju pembakaran ditentukan berdasarkan kecepatan kehilangan massa per satuan waktu selama proses pembakaran pada tungku standar.

Tabel 1. Komposisi Campuran Briket Biomassa Berbasis Arang Tempurung Kelapa dan Serbuk Gergaji Sengon dengan Variasi Perlakuan Karbonisasi.

Series	Blend Code	Coconut Shell Charcoal (%)	Sengon Sawdust (%)	Treatment of Sengon
A	A1	100	0	-
	A2	95	5	Carbonized
	A3	90	10	Carbonized
	A4	85	15	Carbonized
	A5	80	20	Carbonized
B	B1	0	100	Carbonized
	B2	95	5	Non-carbonized
	B3	90	10	Non-carbonized
	B4	85	15	Non-carbonized
	B5	80	20	Non-carbonized

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Briket Monokomponen sebagai Dasar Sistem Komposit

Sebelum menganalisis sistem briket komposit, penting untuk terlebih dahulu menetapkan pemahaman dasar mengenai karakteristik briket monokomponen yang menyusun campuran. Data karakterisasi menunjukkan adanya kontras yang jelas antara briket yang tersusun dari 100% arang tempurung kelapa dan briket yang tersusun dari 100% arang kayu sengon. Perbedaan ini menjadi dasar yang krusial dalam menafsirkan interaksi material serta tren kinerja yang muncul pada sistem briket komposit.

Tabel 2. Karakteristik Fisikokimia dan Pembakaran Briket Monokomponen Arang Tempurung Kelapa dan Arang Kayu Sengon.

Parameter	100% Coconut Shell Charcoal	100% Sengon Wood Charcoal
Calorific Value	6352.2 cal/g	4828.6 cal/g
Density	0.7646 g/cm ³	0,7354 g/cm ³
Water Content	7.21%	5.01%
Ash Content	2.8%	2%
Volatile Meter	8.12%	25.42%
Fix Carbon	81	66.8
Burning Rate	0.38	0.5115

Karakterisasi terhadap dua bahan baku monokomponen, yaitu arang tempurung kelapa dan arang kayu sengon, mengungkapkan perbedaan sifat yang bersifat fundamental dan relevan secara langsung terhadap perancangan briket campuran. Arang tempurung kelapa menunjukkan nilai kalor yang relatif tinggi, mencapai 6352,2 cal/g, disertai dengan dominasi kandungan karbon tetap sebesar 81%, sehingga dapat diklasifikasikan sebagai komponen dengan densitas energi tinggi. Karakteristik karbon tinggi menjadikan tempurung kelapa terkarbonisasi berperan utama dalam meningkatkan keluaran energi total briket (Nuryawan et al., 2025).

Sebaliknya, arang kayu sengon dicirikan oleh kandungan zat terbang yang lebih besar, yakni sebesar 25,42%, serta laju pembakaran yang lebih cepat (0,5115). Sifat tersebut mengindikasikan perannya dalam meningkatkan reaktivitas termal, khususnya pada tahap penyalaan awal dan percepatan reaksi pembakaran. Kontras karakteristik antara kedua material ini memberikan dasar konseptual yang kuat dalam formulasi briket komposit, di mana pengaturan rasio pencampuran dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan keseimbangan antara densitas energi, kinetika pembakaran, dan kemudahan penyalaan (Mustain et al., 2021). Dengan demikian, data monokomponen yang diperoleh pada tahap ini berfungsi sebagai referensi utama dalam mengidentifikasi potensi efek sinergis serta perubahan perilaku termokimia pada sistem briket campuran yang dianalisis pada bagian berikutnya.

Pengaruh Komposisi Campuran dan Perlakuan Karbonisasi terhadap Sifat Fisikokimia dan Karakteristik Pembakaran Briket Komposit

Sifat fisikokimia dan kinerja pembakaran briket komposit sangat dipengaruhi oleh komposisi campuran serta perlakuan awal bahan baku melalui proses karbonisasi. Variasi rasio antara arang tempurung kelapa dan serbuk kayu sengon, baik dalam kondisi terkarbonisasi maupun non-terkarbonisasi, menghasilkan perbedaan yang signifikan pada parameter utama, termasuk kandungan zat terbang, karbon tetap, densitas, nilai kalor, dan laju pembakaran.

Peningkatan proporsi arang tempurung kelapa dalam campuran secara konsisten berkontribusi terhadap kenaikan nilai kalor dan kandungan karbon tetap, yang merefleksikan peningkatan densitas energi briket (Mustain et al., 2021). Sebaliknya, penambahan fraksi sengon, terutama dalam kondisi tanpa karbonisasi, cenderung meningkatkan kandungan zat terbang dan mempercepat laju pembakaran, sehingga berdampak positif terhadap karakteristik penyalaan awal. Temuan ini menegaskan bahwa perlakuan karbonisasi memainkan peran kunci dalam mengatur keseimbangan antara stabilitas termal dan reaktivitas pembakaran. Lebih lanjut, interaksi antara komposisi campuran dan perlakuan karbonisasi menunjukkan pola perilaku pembakaran yang tidak bersifat linier, yang mengindikasikan adanya efek sinergis dalam sistem briket komposit. Kombinasi yang tepat antara komponen dengan densitas energi tinggi dan komponen dengan reaktivitas tinggi memungkinkan pengembangan briket biomassa dengan karakteristik pembakaran yang lebih seimbang, sekaligus memenuhi persyaratan mutu sebagai bahan bakar padat alternatif yang kompetitif.

Tabel 3. Sifat Fisikokimia, Nilai Kalor, dan Laju Pembakaran Briket Komposit pada Berbagai Komposisi dan Perlakuan Sengon.

Sample	Density (g/cm ³)	Water Content (%)	Ash Content (%)	Volatile Meter (%)	Calorific Value (cal/j)	Burning Rate (g/m)	Fix Carbon
A2	0,7493	7,02	2,85	10,18	6189,7	0,3812	79,9564
A3	0,7414	7,02	2,74	10,28	5542,8	0,3923	79,9561
A4	0,7414	6,90	2,86	14,28	5208,5	0,4427	75,9621
A5	0,7225	6,93	2,49	17,26	5077,7	0,4914	73,3171
B2	0,7246	6,82	2,30	16,52	6055,6	0,4757	73,6376

Sample	Density (g/cm ³)	Water Content (%)	Ash Content (%)	Volatile Meter (%)	Calorific Value (cal/j)	Burning Rate (g/m)	Fix Carbon
B3	0,7207	6,02	2,10	20,19	6119,2	0,4869	70,9684
B4	0,6773	5,70	2,00	28,17	5132,2	0,5069	63,4537
B5	0,6279	5,03	1,89	35,72	5144,5	0,5143	56,7359

Nilai Kalor

Nilai kalor briket menunjukkan pola yang berbeda secara mencolok antara seri berbasis sengon terkarbonisasi dan non-terkarbonisasi. Pada Seri A (sengon terkarbonisasi), penurunan nilai kalor yang hampir linear dari 6352,2 kal/g (A1) menjadi 5077,7 kal/g (A5), hal itu merupakan cerminan klasik dari dilution effect (Yopianita et al., 2022). Kedua bahan (tempurung kelapa dan sengon terkarbonisasi) telah melalui proses karbonisasi, sehingga struktur kimianya sudah stabil berupa fixed carbon dan abu (Gobel & Arief, 2021). Pencampuran keduanya hanya menghasilkan rata-rata berbobot dari dua bahan "matang" tanpa interaksi kimia sinergis baru selama pembakaran (Agussalim et al., 2021), karena komponen volatil dan reaktif yang dapat berinteraksi telah hilang selama karbonisasi sebelumnya.

Sebaliknya, Seri B (sengon non-terkarbonisasi) menunjukkan perilaku non-linear yang kompleks, di mana penambahan 5-10% justru meningkatkan nilai kalor hingga mencapai puncak 6119,2 kal/g (B3). Pola ini mengindikasikan adanya efek sinergis kimia-fisika selama pembakaran. Sengon non-terkarbonisasi kaya akan volatil (selulosa, hemiselulosa) dan katalis alami logam alkali (terutama K dan Ca) dalam abunya (Suwandi et al., 2023). Selama pembakaran, pelepasan volatil yang cepat dari sengon menciptakan lingkungan pereduksi dan panas lokal yang intens, yang kemudian meningkatkan efisiensi pembakaran dari karbon padat tempurung kelapa yang lebih sulit terbakar (Hasna et al., 2019). Logam alkali bertindak sebagai katalis, menurunkan energi aktivasi oksidasi karbon. Namun, penambahan di atas 10% (B4, B5) menyebabkan dominasi efek pengenceran dan kelebihan volatil yang justru meningkatkan kehilangan panas dan pembentukan char yang tidak terbakar sempurna, sehingga nilai kalor akhir turun. Dengan kata lain, terdapat titik optimum di mana proporsi volatil dan katalis dari biomassa mentah secara ideal mendukung pembakaran karbon padat utama.

Densitas

Penurunan densitas yang lebih tajam pada Seri B (sengon non-terkarbonisasi) dibandingkan Seri A terutama disebabkan oleh perbedaan sifat deformasi partikel dan kompatibilitas matriks selama pemadatan. Partikel arang (baik sengon maupun tempurung kelapa pada Seri A) bersifat getas dan mengalami fragmentasi di bawah tekanan tinggi, menghasilkan serpihan halus yang mengisi rongga secara efektif dan mempertahankan kepadatan matriks (Napitupulu et al., 2025). Sebaliknya, partikel biomassa non-terkarbonisasi bersifat lunak, elastis, dan berserat di bawah tekanan yang sama, partikel ini cenderung berdeformasi sementara kemudian mengalami spring-back effect pasca-kompaksi, sekaligus membentuk susunan partikel yang kurang rapat akibat geometri serat (Hutagaol et al., 2015). Sifat ini menciptakan struktur briket yang lebih berpori dengan integritas mekanik lebih rendah, sehingga densitas menurun lebih signifikan seiring peningkatan fraksi sengon mentah.

Korelasi antara densitas rendah dan laju pembakaran tinggi pada Seri B dapat dijelaskan melalui prinsip transport massa dan panas dalam media berpori. Struktur berpori tinggi menghasilkan luas permukaan reaktif internal yang lebih besar terhadap aliran udara (oksidan) (Qistina et al., 2016). Selain itu, porositas yang terhubung dengan baik memfasilitasi difusi oksigen yang lebih cepat ke dalam matriks briket dan evakuasi produk gas hasil pembakaran yang lebih efisien, menghindari terjadinya lapisan stagnan yang memperlambat reaksi (Maiwa, 2018). Densitas yang lebih rendah juga berkaitan dengan konduktivitas termal efektif yang lebih rendah, yang memusatkan panas di zona reaksi daripada menghantarkannya menjauh, sehingga mempercepat pemanasan lokal dan laju devolatilisasi (Ramadani, 2012). Dengan demikian, penurunan densitas tidak hanya bersifat struktural, tetapi secara langsung menentukan kinerja pembakaran melalui peningkatan aksesibilitas reaktan dan optimasi profil termal.

Kadar Air

Kadar air briket pada kedua seri menunjukkan variasi yang relatif kecil, namun terdapat perbedaan konsisten di mana Seri A (terkarbonisasi) memiliki kadar air (7,0–7,2%) sedikit lebih tinggi daripada Seri B (non-terkarbonisasi, 5,0–6,8%). Perbedaan ini utamanya disebabkan oleh dominasi mekanisme penyerapan air yang berbeda, yang ditentukan oleh transformasi struktur pori akibat karbonisasi. Briket Seri A (terkarbonisasi) memiliki struktur berpori nano yang berkembang baik akibat degradasi termal komponen volatil. Meskipun permukaan karbon bersifat relatif hidrofobik, gaya kapiler (Kondensasi Kapiler) dalam mikropori dan mesopori yang sangat banyak menjadi mekanisme dominan (Novitra, 2021).

Berdasarkan persamaan Kelvin, uap air dapat mengembun dalam pori berukuran nano pada kelembaban relatif di bawah 100%, sehingga pori-pori ini bertindak sebagai perangkap air fisik yang efisien, meningkatkan kadar air kesetimbangan meskipun afinitas kimia permukaannya rendah (Ismadji et al., 2021).

Sebaliknya, pada Seri B (non-terkarbonisasi), mekanisme penyerapan air didominasi oleh adsorpsi kimia pada gugus hidroksil (-OH) dari selulosa dan hemiselulosa (Setyono & Purnomo, 2022). Namun, struktur pori biomassa mentah didominasi oleh makropori (pori sel) dengan luas permukaan internal yang jauh lebih rendah dibandingkan material terkarbonisasi (Hastiawan et al., 2018). Akibatnya, kapasitas penyimpanan air secara fisik menjadi terbatas dan situs hidrofilik pada permukaan relatif cepat jenuh. Kombinasi dari luas permukaan internal yang lebih kecil dan ketiadaan jaringan mikropori yang ekstensif ini membatasi jumlah total air yang dapat diikat, sehingga kadar air kesetimbangan akhirnya lebih rendah dibandingkan briket terkarbonisasi, meskipun sifat kimia permukaannya lebih hidrofilik

Kadar Abu

Kadar abu yang relatif rendah dan stabil (1,89–2,86%) pada seluruh formulasi briket mengonfirmasi kualitas bahan bakar yang baik, di mana nilai di bawah 3% secara umum mengindikasikan efisiensi pembakaran tinggi dan pembentukan residu yang minimal. Pola yang berbeda antara kedua seri merefleksikan sifat inorganik asal dan transformasinya selama proses termokimia. Pada Seri A (sengon terkarbonisasi), kadar abu yang relatif konstan pada kisaran 2,8% untuk sebagian besar komposisi disebabkan oleh kedua bahan baku (arang tempurung kelapa dan arang sengon) telah mengalami stabilisasi termal melalui proses karbonisasi. Proses ini menguapkan komponen volatil organik dan pada saat yang sama memekatkan mineral anorganik menjadi senyawa oksida yang stabil (seperti K_2O , CaO , SiO_2) dalam fraksi abu (Mimut, 2021). Oleh karena itu, pencampuran dua bahan terkarbonisasi menghasilkan kadar abu yang merupakan rata-rata berbobot dari dua komponen yang sudah "tetap", sehingga nilainya stabil hingga terjadi perubahan proporsi yang signifikan.

Sebaliknya, tren menurun yang lebih jelas pada Seri B (sengon non-terkarbonisasi) dari 2,30% (B2) menjadi 1,89% (B5) terutama disebabkan oleh perbedaan mendasar dalam kandungan abu intrinsik dan perilaku termalnya. Tempurung kelapa (komponen utama) memiliki kadar abu yang sangat rendah (<2%), sedangkan biomassa kayu seperti sengon non-terkarbonisasi umumnya memiliki kandungan mineral (terutama K, Ca, Mg) yang lebih tinggi dan mudah menguap (volatile ash) (Oktaviansyah et al., 2024). Namun, penambahan sengon non-terkarbonisasi justru menurunkan kadar abu total karena mekanisme pencucian mineral

selama pembakaran briket (ash volatilization). Mineral alkali (terutama kalium) dalam biomassa mentah dapat mengalami sublimasi atau bereaksi membentuk senyawa klorida yang mudah menguap pada suhu pembakaran briket, sehingga tidak seluruhnya tertinggal sebagai abu padat (Ilma et al., 2024). Oleh karena itu, meskipun sengon mentah secara teoritis membawa lebih banyak material anorganik, kontribusinya terhadap abu akhir justru lebih rendah, sehingga kadar abu total campuran mengalami penurunan bertahap

Zat Terbang

Perbedaan kandungan zat terbang (volatile matter/V) merupakan parameter paling kritis yang membedakan kedua seri dan secara langsung mengendalikan perilaku pembakarannya. Pada Seri A (sengon terkarbonisasi), peningkatan V yang konsisten (8,12% menjadi 17,26%) mencerminkan gradien kandungan fixed carbon antar bahan baku terkarbonisasi. Meskipun kedua bahan telah melalui karbonisasi, arang tempurung kelapa umumnya terkarbonisasi lebih sempurna dengan struktur aromatik terkondensasi tinggi, sehingga V-nya sangat rendah. Sebaliknya, arang sengon (A5) yang dikarbonisasi pada suhu dan waktu yang sama cenderung menyisakan lebih banyak struktur karbon amorf dan sisa senyawa semi-kokas yang mudah terdevolatilisasi. Oleh karena itu, penambahan fraksi arang sengon secara linear meningkatkan kandungan V campuran, yang berimplikasi pada peningkatan kemudahan penyalaan dan laju pembakaran awal karena volatil menyediakan fase gas yang mudah terbakar.

Pada Seri B (sengon non-terkarbonisasi), pola V yang tidak monoton dihasilkan dari interaksi dua fase bahan dengan sifat termokimia yang sangat berbeda. Penurunan awal dari 25,42% (B1: 100% arang sengon) menjadi 16,52% (B2) disebabkan oleh efek pengenceran kuat dari matriks arang tempurung kelapa yang sangat rendah volatil. Namun, peningkatan V secara signifikan pada komposisi B3 hingga B5 (hingga 35,72%) tidak hanya disebabkan oleh dominasi sengon mentah, tetapi juga oleh mekanisme preservasi dan sinergi selama pemanasan (Yuliah et al., 2017). Biomassa mentah sengon kaya akan selulosa-hemiselulosa yang terdekomposisi cepat pada 250–400°C menghasilkan volatil tinggi (Shohib et al., 2023). Ketika dipanaskan dalam matriks arang yang konduktif, degradasi ini mungkin terjadi lebih terkendali dan lengkap. Lebih penting, tingginya V pada B1 (25,42%) mengindikasikan bahwa karbonisasi sengon pada 400°C belum mencapai tahap stabilisasi penuh, sehingga masih menyisakan fraksi volatil yang signifikan dari lignin dan karbon amorf, menjadikannya bahan perantara (semi-char) dengan reaktivitas lebih tinggi dibanding arang tempurung kelapa.

Karbon Terikat

Kandungan karbon terikat menunjukkan tren yang berlawanan dengan zat terbang, sesuai dengan sifat komplementer dari analisis proksimat (Dewi & Isnanto, 2023). Penurunan FC pada Seri A (81,88% menjadi 73,32%) secara langsung mencerminkan pengenceran oleh arang sengon yang memiliki FC lebih rendah, akibat tingkat aromatisasi karbon yang kurang sempurna selama karbonisasi dibandingkan arang tempurung kelapa. Pola yang lebih kompleks pada Seri B—ditandai dengan peningkatan awal FC dari 66,81% (B1) menjadi 73,64% (B2)—mengindikasikan adanya efek struktur selama pembakaran analitis. Dalam campuran arang tempurung kelapa (FC tinggi) dengan sedikit biomassa mentah (B2, B3), volatil dari biomassa mungkin terlepas dengan cepat dan meninggalkan char tambahan dalam matriks arang yang sudah ada. Selain itu, matriks arang yang padat dapat menjebak (trap) sebagian produk kondensasi volatil dari biomassa, yang kemudian terkarbonisasi menjadi char sekunder dan berkontribusi pada peningkatan FC terukur. Namun, peningkatan fraksi biomassa mentah di atas titik optimum (B4, B5) menyebabkan dominasi komponen ber-volatil tinggi, sehingga fraksi karbon padat akhir yang tertinggal secara proporsional menjadi lebih rendah.

Laju Pembakaran

Hubungan antara laju pembakaran dan komposisi kimia dijelaskan oleh dominasi mekanisme pembakaran yang berbeda. Pada Seri A, korelasi positif yang kuat antara laju pembakaran dan kandungan volatil (meningkat dari 0,3810 menjadi 0,4914 g/menit) menunjukkan bahwa pembakaran dikendalikan oleh devolatilisasi (volatile combustion). Peningkatan fraksi arang sengon yang lebih reaktif menyediakan lebih banyak volatil sebagai bahan bakar fase gas yang mudah terbakar, sehingga mempercepat kehilangan massa.

Sebaliknya, pada Seri B, laju pembakaran yang relatif stabil (0,4757–0,5143 g/menit) meskipun volatil bervariasi besar, mengungkap peralihan menuju mekanisme pembakaran yang dikendalikan oleh difusi oksigen dan reaksi permukaan karbon (char combustion). Struktur briket Seri B yang lebih berpori (akibat partikel biomassa mentah) memberikan aksesibilitas oksigen yang lebih baik ke dalam matriks. Selain itu, keberadaan katalis alami (logam alkali) dari abu biomassa sengon secara signifikan menurunkan energi aktivasi oksidasi karbon padat, sehingga laju pembakaran char menjadi cepat dan konsisten, bahkan ketika fraksi volatil berubah (Wulandari et al., 2025). Dengan kata lain, pada Seri B, faktor transport massa (porositas) dan katalisis permukaan menjadi pengendali laju yang lebih dominan daripada sekadar jumlah volatil, menghasilkan performa pembakaran yang lebih responsif dan stabil.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengevaluasi karakteristik dan kinerja briket biomassa hibrida yang disintesis dari campuran arang tempurung kelapa dan serbuk gergaji sengon dengan variasi perlakuan karbonisasi. Berdasarkan analisis yang dilakukan, beberapa kesimpulan utama dapat dirumuskan sebagai berikut.

Pertama, perlakuan karbonisasi pada serbuk gergaji sengon memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat fisikokimia dan perilaku pembakaran briket. Briket Seri B yang menggunakan sengon terkarbonisasi menunjukkan karakteristik yang berbeda secara jelas dibandingkan Seri A, serta mampu membentuk interaksi sinergis dengan arang tempurung kelapa pada komposisi tertentu.

Kedua, terdapat formulasi optimum yang mampu menghasilkan keseimbangan terbaik antara densitas energi dan karakteristik pembakaran. Komposisi B3 (90% arang tempurung kelapa dan 10% sengon terkarbonisasi) terbukti sebagai formulasi paling optimal, dengan nilai kalor tinggi (6119,2 kal/g), laju pembakaran yang relatif cepat dan stabil (0,4869 g/menit), serta kualitas fisikokimia yang unggul, ditandai oleh kadar air rendah (6,02%), kadar abu sangat rendah (2,10%), dan kandungan karbon terikat yang tinggi (70,97%).

Ketiga, pendekatan hibridisasi melalui pencampuran bahan terkarbonisasi dan non-terkarbonisasi menawarkan fleksibilitas formulasi yang lebih besar dalam mengendalikan *trade-off* antara keluaran energi dan kemudahan serta kestabilan pembakaran. Strategi ini terbukti lebih efektif dibandingkan penggunaan bahan baku tunggal atau campuran dengan perlakuan karbonisasi yang seragam.

Keempat, seluruh briket komposit yang dihasilkan memenuhi persyaratan dasar mutu bahan bakar biomassa, dengan kadar air di bawah 8% dan kadar abu di bawah 3%. Hal ini menunjukkan potensi aplikatif yang kuat dari briket hibrida sebagai bahan bakar padat alternatif yang efisien dan ramah lingkungan.

DAFTAR REFERENSI

- Agussalim, A., Khairana, A., Rajab, M., Rezky, M., & Dwiyantri, U. (2021). Mutu dan karakteristik penyalan briket arang tempurung kelapa dengan aplikasi lapisan arang sengon pada permukaannya. *Jurnal Rekayasa Proses*, 16(Pribadi 2020), 1–8. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.70277>
- Dewi, R. P., & Isnanto, R. (2023). Analysis of fixed carbon and volatile matter briquettes of pine sawdust and coconut shell waste. *Rekayasa Mesin*, 14(3), 901–907. <https://doi.org/10.21776/jrm.v14i3.1421>
- Francioso, O. (2024). Current and future perspectives for biomass waste management and utilization. *Scientific Reports*, 24–26. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59623-1>

- Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2021). Pengaruh karbonisasi terhadap karakteristik tempurung kelapa berdasarkan uji proksimat dan nilai kalor. *Jurnal Mel*, 5(1), 48–54. <https://doi.org/10.31315/jmel.v5i1.5370>
- Hasna, A. H., Sutapa, J. P. G., & Irawati, D. (2019). Pengaruh ukuran serbuk dan penambahan tempurung kelapa terhadap kualitas pelet kayu sengon. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 13, 170–180. <https://doi.org/10.22146/jik.52428>
- Hastiawan, I., Haryono, Ernawati, E., Noviyanti, A. R., Eddy, D. R., Rukiah, & Yuliyati, Y. B. (2018). Pembuatan briket dari limbah bambu dengan memakai adhesive PET plastik di Desa Cilayung, Jatinangor. *Dharmakarya*, 7(3), 154–156. <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v7i3.19347>
- Hutagaol, W. M., Tunggal, T., & Hayati, A. (2015). Pengaruh tekanan dan ukuran partikel arang penyusun briket terhadap karakteristik briket pelepah kelapa sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Sriwijaya*, 4(2).
- Ilma, R. Z., Abidin, A., & Bahri, H. (2024). Produksi briket bioarang dari produksi briket limbah serbuk kayu jati dengan metode pirolisis. *National Multidisciplinary Sciences*, 3(1), 423–432.
- Inegbedion, F. (2022). Estimation of the moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon and calorific values of saw dust briquettes. *MJEN*, 10(1), 17–20. <https://doi.org/10.51354/mjen.940760>
- Ismadji, S., Soetaredjo, F. E., Santoso, S. P., Putro, J. N., Yuliana, M., Irawati, W., Hartono, S. B., & Lunardi, V. B. (2021). Adsorpsi pada fase cair.
- Lestari, R. A. S. (2021). Briket biomassa dari jerami padi, sampah daun dan kotoran sapi. *Inovasi Teknik Kimia*, 6(2), 66–72. <https://doi.org/10.31942/inteka.v6i2.5504>
- Maiwa, N. F. K. (2018). Uji kualitas briket biomassa dari hasil blending karbon cangkang kemiri dan batubara dengan perekat sagu.
- Mimut, A. R. (2021). Pengaruh variasi jumlah campuran bahan perekat terhadap karakteristik briket arang tongkol jagung.
- Mustain, A., Sindhuwati, C., Wibowo, A. A., & Estelita, A. S. (2021). Pembuatan briket campuran arang ampas tebu dan tempurung kelapa sebagai bahan bakar alternatif. *Jurnal TJKL*, 5(September 2020), 100–106. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v5i2.183>
- Napitupulu, R., Pratama, R. J., & Dharta, Y. (2025). Analisis ukuran partikel serbuk arang terhadap pengurangan kadar abu pada briket tempurung kelapa. *Teknologi*, 25(1), 44–49. <https://doi.org/10.30811/teknologi.v25i1.6256>
- Novitra, R. (2021). Superkapasitor berbahan dasar karbon aktif dari ampas biji kopi robusta dengan aktivator NaOH.
- Nurhilal, O., & Suryaningsih, S. (2017). Karakterisasi biobriket campuran serbuk kayu dan tempurung kelapa. *Jurnal JMEI*, 7(2), 13–16. <https://doi.org/10.24198/jmei.v7i02.15344>
- Nuryawan, A., Simatupang, J., Risnasari, I., Tambunan, H., & Utami, S. S. (2025). Physical, chemical, mechanical, and thermal properties of charcoal briquettes produced from mangrove branch wood. *Frontiers in Materials*, 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmats.2025.1611316>
- Oktaviansyah, I., Hindriarsana, A. Y., & Wahyudi, A. (2024). Pengaruh karbon aktif tempurung kelapa dan karbon aktif industrial terhadap parameter ammonia pada Danau Sipin. *REDOKS*, 9, 137–146. <https://doi.org/10.31851/redoks.v9i2.14541>

- Qistina, I., Sukandar, D., & Trilaksono, T. (2016). Kajian kualitas briket biomassa dari sekam padi dan tempurung kelapa. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2(2), 136–142. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i2.4054>
- Rahmawati, S., Afafil, Suherman, Santoso, T., Abram, P. H., & Rabasia. (2023). The utilization of durian peels (*Durio zibethinus*) for the manufacturing of charcoal briquettes as alternative fuel. *Journal of Natural Resources and Environmental Management*, 13(1), 76–87. <https://doi.org/10.29244/jpsl.13.1.76-87>
- Ramadani, G. (2012). Kinerja pembakaran biobriket yang terbuat dari biomassa bagasse tebu dan batubara subbituminous dalam kompor briket.
- Setyono, M. Y. P., & Purnomo, Y. S. (2022). Analisis kadar air dan kadar abu briket lumpur IPAL dan fly ash dengan penambahan serbuk gergaji kayu. *Insologi*, 1(6), 696–703. <https://doi.org/10.55123/insologi.v1i6.1047>
- Shohib, A., Da Silva, T., Pramudono, B., Rokhati, N., & Kasmiyatun, M. (2023). Analisis komposisi selulosa, hemiselulosa, dan lignin dalam berbagai jenis kayu: Metode Chesson-Datta. *Inovasi Teknik Kimia*, 8, 318–323.
- Suwandi, A. M., Fernanda, Y., & Arafat, A. (2023). Characteristics of Albizia chinensis wood sawdust briquette product at high compression method. *MOTIVATION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5, 139–150. <https://doi.org/10.46574/motivaction.v5i1.196>
- Wulandari, L. A., Azis, M. M., Wintoko, J., Kristanto, J., & Caroko, N. (2025). Microwave-assisted pyrolysis process of sengon sawdust by using Ni/Al₂O₃ catalyst. 4(June 2023), 2–7.
- Yopianita, A., Syarif, A., Yerizam, M., & Rusdianasari. (2022). Biocoal characterization as an environmentally friendly alternative energy innovation composite variations of gasified char with coconut shell charcoal. *IJFAC*, 7(2). <https://doi.org/10.24845/ijfac.v7.i2.68>
- Yuliah, Y., Suryaningsih, S., & Ulfi, K. (2017). Penentuan kadar air hilang dan volatile matter pada bio-briket dari campuran arang sekam padi dan batok kelapa. *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 1(1), 51–57. <https://doi.org/10.24198/jiif.v1n1.7>