

**JITS**

Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains

E-ISSN: 3025-8871 | <https://jurnal.akipba.ac.id/index.php/JITS>

Produksi Briket dari Karbon Aktif Serbuk Kayu Mahoni melalui Variasi Temperatur Aktivasi untuk Energi Terbarukan

Production of Briquettes from Mahogany Sawdust-Derived Activated Carbon at Various Activation Temperatures for Renewable Energy

Muhamad Taufik Ulhakim¹, Ade Suhara², Nafisa Rizki Maulida³, Farah Nadira Noer⁴, Bella Kharisma⁵, Annissa Novalinda Al-Mi'raj⁶, Rezki Diwanti Suci Lestari⁷, Desti Martina⁸

^{1,7}Program Studi Teknik Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Buana Perjuangan Karawang, Karawang, Jawa Barat, Indonesia

^{3,4}Program Studi Kimia Tekstil, Politeknik STTT Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

^{5,6,8}Program Studi Produksi Garmen, Politeknik STTT Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

¹mtaufiku@stttekstil.ac.id ²ade.suhara@ubpkarawang.ac.id, ³nafisarizki221@gmail.com, ⁴farah@stttekstil.ac.id, ⁵kharismabella@stttekstil.ac.id, ⁶annissanova@stttekstil.ac.id, ⁷rezkids197@stttekstil.ac.id, ⁸destimartina@kemenperin.go.id

Penulis Korespondensi: Muhamad Taufik Ulhakim | **Email:** mtaufiku@stttekstil.ac.id

Diterima (Received): 27/07/2026 Direvisi (Revised): 05/08/2026 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 06/08/2026

ABSTRAK

Limbah serbuk kayu mahoni (*Swietenia mahagoni*) memiliki kandungan karbon yang tinggi, tetapi pemanfaatannya sebagai bahan bakar padat bernilai tambah masih terbatas. Selain itu, hubungan antara temperatur aktivasi, struktur karbon, karakteristik proksimat, dan performa pembakaran briket belum banyak dikaji secara komprehensif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh temperatur aktivasi terhadap karakteristik karbon aktif berbasis serbuk kayu mahoni dan kualitas briket yang dihasilkan. Serbuk kayu dikarbonisasi, diimpregnasi menggunakan H_3PO_4 dengan rasio 1:3 (b/v), kemudian diaktivasi selama 2 jam pada temperatur 600, 700, dan 800 °C. Karbon aktif hasil aktivasi dikarakterisasi menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), sedangkan briket yang dibuat dari karbon aktif tersebut diuji melalui analisis proksimat, pengukuran nilai kalor, laju pembakaran, dan lama pembakaran. Hasil XRD menunjukkan bahwa seluruh sampel karbon aktif memiliki struktur karbon amorf dengan puncak lebar pada 2θ sekitar 24-26° serta kecenderungan peningkatan keteraturan struktur pada temperatur aktivasi yang lebih tinggi. Peningkatan temperatur aktivasi dari 600 menjadi 800 °C menyebabkan penurunan kadar air briket dari 6,80% menjadi 3,70%, kadar zat terbang dari 25,80% menjadi 17,40%, dan laju pembakaran dari 0,113 menjadi 0,093 g/menit. Sebaliknya, peningkatan temperatur aktivasi menyebabkan kenaikan kadar abu dari 5,10% menjadi 10,20%, karbon terikat dari 62,30% menjadi 68,70%, nilai kalor dari 4.253 menjadi 4.768 kal/g, dan lama pembakaran dari 41,8 menjadi 54,9 menit. Dengan demikian, temperatur aktivasi 800 °C menghasilkan kinerja pembakaran terbaik, yaitu nilai kalor dan karbon terikat tertinggi, laju pembakaran terendah, serta durasi terpanjang, meskipun kadar abu meningkat.

Kata Kunci: Briket, karbon aktif, nilai kalor, serbuk kayu mahoni, temperatur aktivasi.

ABSTRACT

Mahogany sawdust waste (Swietenia mahagoni) has a high carbon content, but its utilization as a value-added solid fuel remains limited. Moreover, the relationships among activation temperature, carbon structure, proximate characteristics, and briquette combustion performance have not been comprehensively investigated. This study aimed to analyze the effect of activation temperature on the characteristics of mahogany sawdust-derived activated carbon and the quality of the resulting briquettes. The sawdust was carbonized, impregnated with H_3PO_4 at a ratio of 1:3 (w/v), and subsequently activated for 2 h at 600, 700, and 800 °C. The activated carbon was characterized using X-ray diffraction (XRD), while the briquettes produced from the activated carbon were evaluated through proximate analysis and measurements of calorific value, combustion rate, and combustion duration. The XRD results showed that all activated carbon samples exhibited an amorphous carbon structure, with a broad peak at 2θ of approximately 24-26° and a tendency toward increased structural ordering at higher activation temperatures. Increasing the activation temperature from 600 to 800 °C reduced the briquette

moisture content from 6.80% to 3.70%, volatile matter from 25.80% to 17.40%, and combustion rate from 0.113 to 0.093 g/min. Conversely, the ash content increased from 5.10% to 10.20%, fixed carbon from 62.30% to 68.70%, calorific value from 4,253 to 4,768 cal/g, and combustion duration from 41.8 to 54.9 min. Thus, activation at 800 °C produced the best combustion performance, as indicated by the highest calorific value and fixed carbon content, the lowest combustion rate, and the longest combustion duration, despite the increased ash content.

Keywords: Briquettes, activated carbon, calorific value, mahogany sawdust, activation temperature.

© Author(s) 2026. This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License (CC BY-SA 4.0).

1. Pendahuluan

Industri pengolahan kayu, furnitur, dan konstruksi menghasilkan limbah biomassa dalam jumlah yang sangat besar setiap tahunnya, terutama dalam bentuk serbuk gergaji, serpihan kayu (*wood chips*), kulit kayu, dan potongan kayu (Putra et al., 2024). Pada proses penggergajian, sekitar 40,48% volume kayu dapat berubah menjadi limbah, bergantung pada jenis kayu, teknologi pengolahan, dan efisiensi produksi (Haryanto et al., 2021). Namun, sebagian besar limbah biomassa kayu masih dimanfaatkan secara sederhana atau bahkan dibuang, sehingga potensi pemanfaatannya material bernilai tambah masih belum dimanfaatkan secara optimal (Guo et al., 2024). Secara kimia, limbah kayu merupakan biomassa lignoselulosa yang didominasi oleh komponen selulosa, hemiselulosa, dan lignin, sehingga memiliki kandungan karbon yang relatif tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan limbah biomassa kayu berpotensi dikonversi menjadi produk bernilai tambah, seperti biochar (Jayakumar et al., 2023), karbon aktif (Mishra et al., 2024), maupun bahan bakar padat berbentuk briket (Ngene et al., 2024). Di Indonesia, pemanfaatan limbah biomassa juga menjadi bagian dari upaya pengembangan energi baru terbarukan sebagaimana diamanatkan dalam Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2007 tentang Energi, Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang mendorong optimalisasi sumber daya biomassa sebagai salah satu sumber energi berkelanjutan (Halimatussadiah et al., 2024).

Di antara berbagai jenis limbah biomassa lignoselulosa, serbuk kayu mahoni (*Swietenia mahagoni*) merupakan salah satu limbah yang dihasilkan dalam jumlah cukup besar dari industri penggergajian, furnitur, dan kerajinan kayu. Peningkatan permintaan kayu mahoni sebagai bahan baku mebel dan konstruksi menyebabkan volume limbah serbuk yang dihasilkan juga terus meningkat setiap tahunnya (Arisandi et al., 2024). Meskipun demikian, pemanfaatan serbuk kayu mahoni masih relatif terbatas dan sebagian besar hanya digunakan sebagai bahan bakar tradisional, media tanam, bahan baku papan partikel, atau bahkan dibuang sebagai limbah padat (Prasetyo et al., 2025). Dari sisi karakteristik material, serbuk kayu mahoni memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi, yang

tersusun atas selulosa sekitar 47,26%, hemiselulosa 27,37%, dan lignin 25,82%, sehingga memiliki potensi yang baik sebagai prekursor material karbon (Arundina et al., 2021). Kandungan lignin yang tinggi berkontribusi terhadap pembentukan karbon terikat selama proses karbonisasi, sedangkan dekomposisi selulosa dan hemiselulosa menghasilkan struktur karbon yang kaya pori (Meadows et al., 2023). Karakteristik tersebut menjadikan serbuk kayu mahoni sebagai bahan baku yang prospektif untuk diproduksi menjadi karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi, stabilitas termal yang baik, serta karakteristik fisik yang mendukung berbagai aplikasi di bidang adsorpsi, lingkungan, dan energi (Tsai & Tsai, 2023; Zuo et al., 2023).

Produksi karbon aktif dari biomassa umumnya melibatkan dua tahapan utama, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Proses karbonisasi berfungsi menguraikan komponen lignoselulosa menjadi material kaya karbon melalui dekomposisi termal dalam kondisi oksigen terbatas, sedangkan proses aktivasi bertujuan mengembangkan struktur pori, meningkatkan luas permukaan spesifik, serta memperbaiki sifat fisik dan kimia material karbon (Ullah et al., 2024). Aktivasi dapat dilakukan secara fisika maupun kimia, namun pada kedua metode tersebut temperatur aktivasi merupakan parameter proses yang paling menentukan karakteristik karbon aktif yang dihasilkan (Yogamalar et al., 2025). Peningkatan temperatur aktivasi mampu menghilangkan senyawa volatil, mempercepat pembentukan struktur karbon aromatik, serta membuka mikropori dan mesopori sehingga meningkatkan luas permukaan dan volume pori material (Kundu et al., 2024). Akan tetapi, temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fenomena *burn-off*, yaitu terjadinya oksidasi karbon secara berlebihan yang mengakibatkan kerusakan struktur pori, penurunan rendemen karbon, peningkatan kadar abu, serta menurunnya kekuatan mekanik karbon aktif (Spencer et al., 2024). Oleh karena itu, penentuan temperatur aktivasi yang optimum menjadi faktor penting dalam menghasilkan karbon aktif berkualitas tinggi yang sesuai untuk berbagai aplikasi, termasuk sebagai bahan penyusun briket.

Berbagai penelitian terdahulu telah melaporkan pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku karbon aktif, di antaranya dari tempurung kelapa (Yanti et al., 2024), sekam padi (Barakat et al., 2024), tongkol jagung

(Kumaravel et al., 2024), bambu (Wei et al., 2024), serbuk gergaji (Sayed et al., 2024), dan limbah pertanian lainnya. Sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada optimasi jenis aktivator (Zazira et al., 2024), konsentrasi aktivator (Long et al., 2024), rasio impregnasi (Fletcher et al., 2024), atau karakterisasi adsorpsi karbon aktif (Karim et al., 2024). Beberapa penelitian juga telah mengevaluasi kualitas briket biomassa berdasarkan nilai kalor dan karakteristik pembakaran (Yiga et al., 2023). Namun, kajian yang secara khusus mengevaluasi pengaruh variasi temperatur aktivasi terhadap karakteristik termal briket karbon aktif berbahan baku serbuk kayu mahoni masih sangat terbatas. Selain itu, hubungan antara perubahan struktur karbon akibat temperatur aktivasi dengan parameter termal briket, seperti kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, laju pembakaran, dan lama pembakaran, belum banyak dibahas secara komprehensif. Keterbatasan tersebut menunjukkan masih adanya kebutuhan penelitian untuk memperoleh kondisi temperatur aktivasi yang mampu menghasilkan briket karbon aktif dengan performa termal yang optimal.

Sejumlah penelitian telah melaporkan pengaruh temperatur aktivasi terhadap karakteristik karbon aktif dari berbagai jenis biomassa. (Prahesti et al., 2025) menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dari 500 hingga 700 °C pada karbon aktif berbahan tempurung kelapa meningkatkan perkembangan pori, luas permukaan spesifik, dan kapasitas adsorpsi, meskipun rendemen karbon menurun pada temperatur yang lebih tinggi akibat burn-off. Selanjutnya, (Saputra et al., 2024) melaporkan bahwa temperatur aktivasi 600–800 °C secara signifikan memengaruhi distribusi ukuran pori dan morfologi karbon aktif berbahan sekam padi, dengan temperatur yang lebih tinggi menghasilkan struktur pori yang lebih berkembang. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada pengaruh temperatur aktivasi terhadap luas permukaan spesifik, struktur pori, dan kapasitas adsorpsi karbon aktif. Kajian yang menghubungkan variasi temperatur aktivasi dengan karakteristik termal briket karbon aktif, khususnya yang diproduksi dari limbah serbuk kayu mahoni, masih relatif terbatas.

Meskipun karbon aktif umumnya dikembangkan sebagai material adsorben karena memiliki luas permukaan spesifik dan porositas yang tinggi, proses aktivasi termokimia juga menyebabkan perubahan pada karakteristik fisik dan kimia material karbon. Peningkatan temperatur aktivasi dapat mengurangi kadar air dan zat terbang, meningkatkan kandungan karbon terikat, serta memengaruhi tingkat keteraturan struktur karbon.

Perubahan karakteristik tersebut diperkirakan tidak hanya berpengaruh terhadap kemampuan adsorpsi, tetapi juga terhadap perilaku pembakaran ketika karbon hasil aktivasi dimanfaatkan sebagai bahan penyusun briket. Temperatur aktivasi merupakan salah satu parameter yang memengaruhi karakteristik bahan karbon dan mutu briket yang dihasilkan. Pada briket arang aktif sekam padi, variasi temperatur aktivasi dilaporkan menyebabkan perubahan kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, waktu penyalan, laju pembakaran, dan lama pembakaran (Rusman et al., 2023). Peningkatan suhu perlakuan termal juga cenderung mempercepat pelepasan senyawa volatil, menurunkan kadar zat terbang, serta meningkatkan fraksi karbon terikat dan nilai kalor bahan karbon, meskipun besar perubahannya dipengaruhi oleh jenis biomassa dan kondisi proses (Hallad et al., 2025). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada pengaruh temperatur aktivasi terhadap struktur karbon aktif berbasis serbuk kayu mahoni serta implikasinya terhadap karakteristik proksimat dan performa termal briket.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur aktivasi terhadap karakteristik struktur karbon hasil aktivasi berbasis serbuk kayu mahoni menggunakan *X-ray diffraction* (XRD), serta mengevaluasi pengaruhnya terhadap sifat proksimat, nilai kalor, laju pembakaran, dan lama pembakaran briket yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai hubungan antara perlakuan aktivasi termokimia dengan karakteristik termal briket biomassa sebagai alternatif bahan bakar padat yang lebih berkelanjutan.

2. Data dan Metodologi

2.1. Bahan Penelitian

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kayu mahoni (*Swietenia mahagoni*) yang diperoleh dari industri penggergajian kayu di Kabupaten Karawang, Jawa Barat, Indonesia. Serbuk kayu dipilih dengan ukuran partikel yang relatif seragam, kemudian dibersihkan dari kotoran berupa pasir, tanah, maupun potongan kayu berukuran besar. Sebelum digunakan, serbuk kayu dikeringkan di bawah sinar matahari secara langsung selama 3 hari untuk mengurangi pengaruh kelembapan terhadap proses karbonisasi.

Bahan kimia yang digunakan meliputi asam fosfat (H_3PO_4) sebagai aktivator kimia untuk mengembangkan struktur pori karbon, akuades sebagai pelarut dan media pencucian setelah proses aktivasi, serta tepung tapioka sebagai perekat pada proses pembuatan briket. Seluruh

bahan kimia digunakan tanpa proses modifikasi atau pemurnian lebih lanjut.

2.2. Preparasi dan Karakterisasi Karbon Aktif

Tahapan preparasi karbon aktif pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Setelah proses pengeringan, massa serbuk kayu mahoni mengalami penyusutan sebesar 12,47%. Serbuk kayu kering kemudian dikarbonisasi menggunakan *furnace* pada temperatur 150 °C selama 2 jam. Tahap tersebut mengadaptasi proses karbonisasi awal yang dilaporkan oleh (Farma et al., 2023), dengan penyesuaian pada urutan dan kondisi proses sesuai rancangan penelitian ini. Hasil karbonisasi kemudian didinginkan hingga mencapai temperatur ruang dan dihancurkan menggunakan mortar sebelum diayak menggunakan ayakan berukuran 200 mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang homogen.

Aktivasi kimia dilakukan menggunakan larutan H_3PO_4 dengan rasio impregnasi 1:3 (b/v) antara karbon dan H_3PO_4 . Campuran diaduk hingga homogen kemudian didiamkan selama 24 jam pada temperatur ruang agar proses impregnasi berlangsung secara optimal. Setelah proses impregnasi selesai, sampel dikeringkan pada temperatur 110 °C selama 12 jam.

Tahap aktivasi dilakukan menggunakan *furnace* dengan variasi temperatur 600 °C, 700 °C, dan 800 °C selama 2 jam. Setelah proses aktivasi selesai, karbon aktif dicuci menggunakan larutan HCl 0,1 M kemudian dibilas menggunakan akuades hingga pH filtrat mendekati netral (pH $\approx$ 7,0). Selanjutnya karbon aktif dikeringkan kembali pada temperatur 105°C selama 24 jam dan disimpan di dalam desikator sebelum digunakan sebagai bahan penyusun briket.

Karbon aktif yang diperoleh selanjutnya dikarakterisasi menggunakan XRD untuk menganalisis struktur dan derajat kristalinitas material. Keberhasilan sintesis karbon aktif dapat dilihat dari hasil karakterisasi XRD dengan munculnya pola difraksi khas karbon amorf berupa puncak melebar (*broad peak*) pada rentang sudut difraksi 2 θ sekitar 22–26° (Alouiz et al., 2025; Liu et al., 2026).

2.3. Pembuatan Briket Karbon Aktif

Karbon aktif hasil aktivasi dicampurkan dengan perekat tepung tapioka sebanyak 10% (b/b) dari massa karbon aktif. Tepung tapioka terlebih dahulu dilarutkan dalam air panas hingga membentuk pasta perekat yang homogen. Campuran karbon aktif dan perekat kemudian diaduk hingga seluruh bagian tercampur merata.

Adonan briket selanjutnya dicetak menggunakan cetakan silinder berbahan stainless steel yang terdiri atas badan cetakan, penekan atas (*upper punch*), dan penekan bawah (*lower punch*), sebagaimana diilustrasikan pada

Gambar 2(a). Proses pencetakan dilakukan menggunakan alat *press* hidrolik dengan tekanan sebesar 12 MPa selama 2 menit hingga diperoleh briket dengan bentuk yang seragam. Briket hasil pencetakan kemudian dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105°C selama 24 jam hingga mencapai massa konstan. Hasil briket karbon aktif setelah proses pengeringan ditunjukkan pada Gambar 2(b). Selanjutnya, briket yang telah kering digunakan sebagai sampel untuk pengujian karakteristik termal, meliputi analisis proksimat (kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, dan karbon terikat), nilai kalor, laju pembakaran, serta lama pembakaran.

2.4. Karakterisasi Briket

Karakterisasi briket dilakukan melalui analisis proksimat yang meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, serta nilai kalor.

Kadar air ditentukan berdasarkan ASTM D 2444-16 melalui pengeringan sampel pada temperatur 105 °C hingga mencapai massa konstan. Persentase kadar air dihitung menggunakan Persamaan (1) berikut ini (Walozi et al., 2026):

$$MC (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (1)$$

dengan m_1 adalah massa sampel sebelum pengeringan (g) dan m_2 adalah massa sampel setelah pengeringan (g).

Selanjutnya, kadar zat terbang dianalisis berdasarkan ASTM D3175-20 melalui pemanasan sampel pada temperatur 950 °C selama 7 menit dalam kondisi tanpa udara. Persentase kadar zat terbang dihitung menggunakan Persamaan (2) berikut ini (Deepti et al., 2026):

$$VM (\%) = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

dengan m_2 merupakan massa sampel sebelum pengeringan (g) dan m_3 merupakan massa sampel setelah pengujian zat terbang (g)

Kemudian, kadar abu ditentukan berdasarkan ASTM D3174 melalui pembakaran sampel pada temperatur 750 °C hingga diperoleh massa konstan. Persentase kadar abu dihitung menggunakan Persamaan (3) berikut ini (Gebrezgabher et al., 2025):

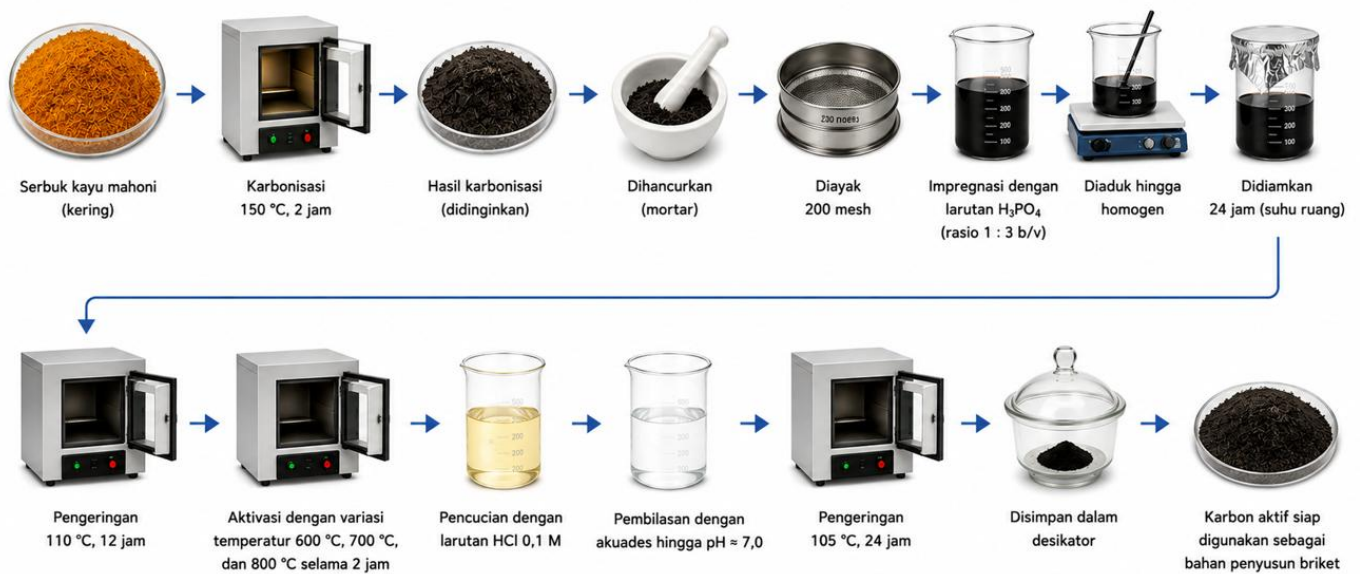
$$AC (\%) = \frac{m_4}{m_1} \times 100 \quad (3)$$

dengan m_4 merepresentasikan massa abu setelah pembakaran (g), sedangkan m_1 adalah massa awal sampel (g).

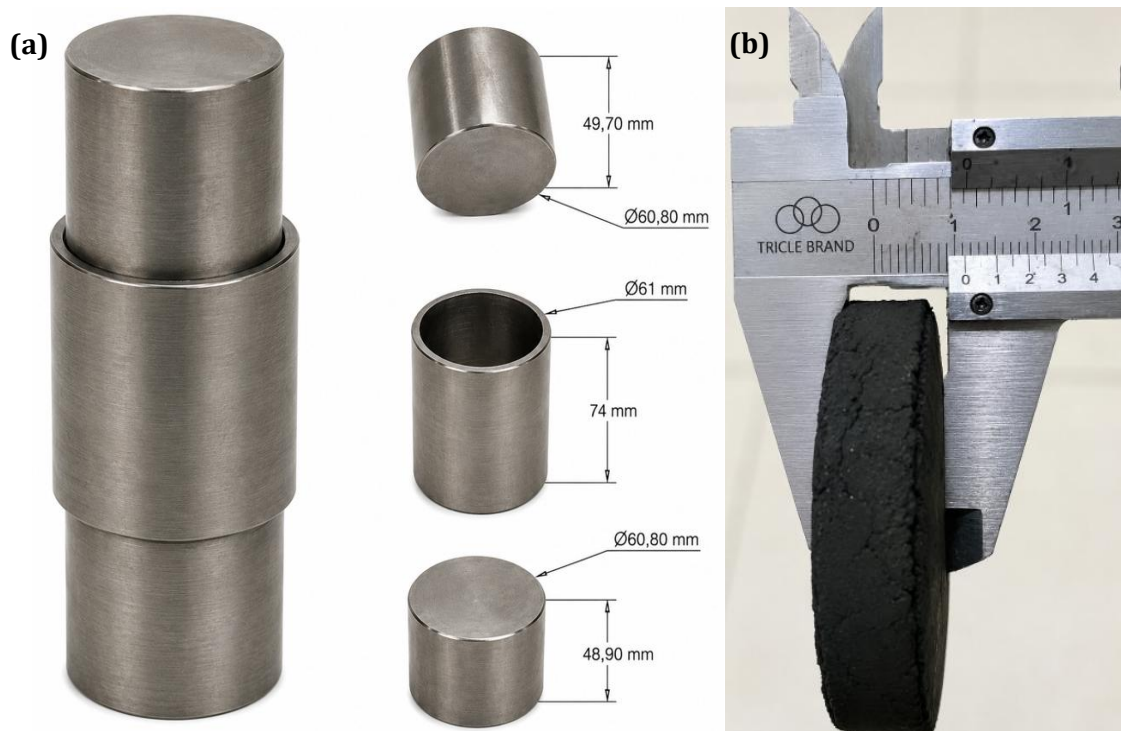
Terakhir, karbon terikat dihitung secara tidak langsung menggunakan Persamaan (4) berikut ini (Nganko et al., 2024):

$$FC (\%) = 100 - (MC + VM + AC) \quad (4)$$

dengan MC adalah kadar air (%), VM merupakan kadar zat terbang (%), dan AC merupakan kadar abu (%).



Gambar 1. Tahapan preparasi karbon aktif berbasis serbuk kayu mahoni.



Gambar 2. (a) Ilustrasi cetakan briket; (b) Briket karbon aktif berbasis serbuk kayu mahoni.

Nilai kalor briket ditentukan menggunakan *Bomb Calorimeter* sesuai ASTM D5865 (Solórzano et al., 2025). Sampel briket yang telah dikeringkan ditimbang, kemudian dibakar di dalam ruang bom kalorimeter dengan suplai oksigen bertekanan hingga terjadi pembakaran sempurna. Nilai kalor diperoleh secara otomatis dari sistem pengukuran alat yang telah dikalibrasi dan dinyatakan dalam satuan kal/g.

2.5. Pengujian Karakteristik Pembakaran

Karakteristik pembakaran dievaluasi melalui pengukuran laju pembakaran dan lama pembakaran, dengan mengacu pada penelitian yang telah dilaporkan oleh (Yiga et al., 2023). Setiap briket ditimbang terlebih dahulu menggunakan neraca analitik, kemudian dinyalakan menggunakan *burner* hingga seluruh permukaan terbakar secara merata. Laju pembakaran dihitung sebagai perbandingan antara massa briket yang terbakar terhadap lama pembakaran sebagaimana digunakan dalam penelitian terdahulu (Akhatior et al., 2023). Laju pembakaran dihitung menggunakan persamaan (5) berikut ini:

$$BR = \frac{m}{t} \quad (5)$$

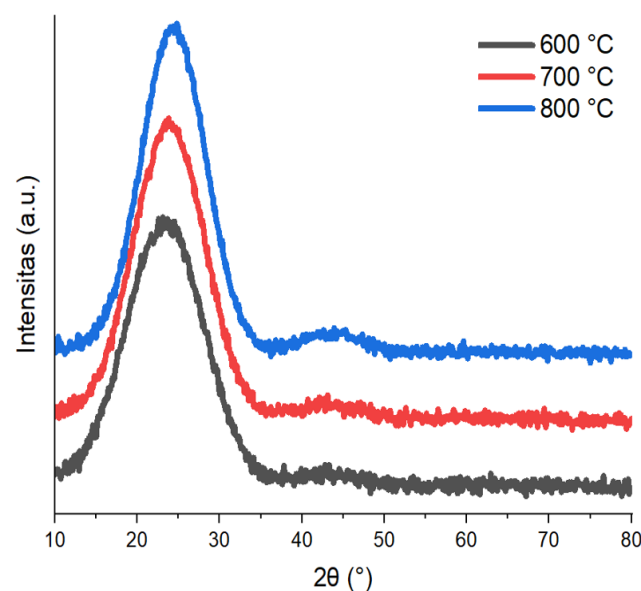
dengan BR adalah laju pembakaran (g/menit), m adalah massa briket yang terbakar (g), dan t adalah lama pembakaran (menit). Lama pembakaran dihitung sejak briket mulai menyala hingga seluruh bagian briket berubah menjadi abu (Yirijor & Bere, 2024).

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pola difraksi XRD pada Gambar 3, karbon aktif hasil aktivasi pada temperatur 600 °C, 700 °C, dan 800 °C menunjukkan pola difraksi yang didominasi oleh satu puncak lebar (*broad peak*) pada rentang 2θ sekitar 24-26°, yang merupakan karakteristik bidang (002) karbon amorf (Bagbi et al., 2024). Tidak tampaknya puncak-puncak difraksi yang tajam mengindikasikan bahwa struktur karbon belum berkembang menjadi grafit kristalin, melainkan masih didominasi oleh susunan lapisan karbon yang tidak teratur (Zerin et al., 2025). Karakteristik tersebut umum dijumpai pada karbon aktif berbasis biomassa, di mana proses karbonisasi dan aktivasi menghasilkan struktur amorf dengan tingkat ketidakteraturan yang tinggi sehingga memberikan luas permukaan dan porositas yang baik (Manimekala et al., 2025).

Peningkatan temperatur aktivasi dari 600 °C menjadi 800 °C menyebabkan intensitas puncak difraksi meningkat disertai sedikit penyempitan puncak, yang

menunjukkan adanya peningkatan keteraturan susunan atom karbon akibat proses karbonisasi yang semakin sempurna (Manimekala et al., 2025). Pada temperatur yang lebih tinggi, penghilangan senyawa volatil dan dekomposisi komponen lignoselulosa berlangsung lebih efektif sehingga atom-atom karbon mengalami reorganisasi membentuk domain karbon yang lebih teratur (Antil et al., 2025). Meskipun demikian, tidak munculnya puncak kristalin yang tajam menunjukkan bahwa seluruh sampel masih didominasi oleh fase amorf, sehingga peningkatan temperatur aktivasi hanya meningkatkan derajat keteraturan struktur tanpa mengubah karakter dasar material menjadi grafit kristalin (Zerin et al., 2025).



Gambar 3. Pola difraksi XRD material karbon aktif berbasis serbuk kayu mahoni pada temperatur aktivasi 600 °C, 700 °C, dan 800 °C.

Berdasarkan hasil karakterisasi XRD dapat disimpulkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan pada temperatur aktivasi 600–800 °C berhasil terbentuk dengan struktur yang didominasi oleh fase amorf, dengan kecenderungan meningkatnya keteraturan struktur seiring kenaikan temperatur aktivasi. Struktur karbon yang terbentuk selanjutnya diperkirakan akan memengaruhi karakteristik briket, karena tingkat keteraturan struktur karbon berkontribusi terhadap sifat fisis dan kualitas pembakaran, serta karakteristik proksimat yang terdiri kadar air, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat. Pengujian proksimat dilakukan

terhadap karbon aktif yang telah dibentuk menjadi briket. Hasil uji proksimat briket berbasis karbon aktif serbuk kayu mahoni dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Selanjutnya, berdasarkan pengujian proksimat, peningkatan temperatur aktivasi dari 600 °C menjadi 800 °C menyebabkan kadar air briket mengalami penurunan dari 6,80% menjadi 3,70%. Penurunan kadar air menunjukkan bahwa proses karbonisasi dan aktivasi pada temperatur yang lebih tinggi mampu menghilangkan air bebas maupun air terikat dalam struktur biomassa secara lebih efektif (Hairudin et al., 2025). Kadar air yang rendah merupakan karakteristik yang diinginkan pada bahan bakar padat karena semakin sedikit energi panas yang digunakan untuk menguapkan air selama proses pembakaran, sehingga efisiensi pembakaran menjadi lebih baik (Nakimuli et al., 2025). Selain itu, kadar air yang rendah juga meningkatkan kemudahan penyimpanan karena mengurangi risiko pertumbuhan mikroorganisme dan degradasi kualitas briket (Ondari et al., 2025).

Tabel 1. Hasil uji proksimat briket berbasis karbon aktif serbuk kayu mahoni

Temperatur Aktivasi (°C)	MC (%)	VM (%)	AC (%)	FC (%)
600	6,80	25,80	5,10	62,30
700	5,20	24,90	6,20	63,70
800	3,70	17,40	10,20	68,70

Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa kadar zat terbang (*volatile matter*) mengalami penurunan seiring meningkatnya temperatur aktivasi, sedangkan kadar abu mengalami sedikit peningkatan. Penurunan zat terbang terjadi akibat semakin intensifnya proses devolatilisasi yang menyebabkan senyawa organik ringan, tar, dan gas hasil pirolisis terlepas dari struktur karbon (Silas et al., 2025). Sebaliknya, peningkatan kadar abu bukan disebabkan oleh bertambahnya mineral anorganik, tetapi karena berkurangnya massa komponen organik sehingga fraksi abu menjadi relatif lebih besar (Walozi et al., 2026). Kandungan abu yang tinggi umumnya kurang diharapkan karena tidak menghasilkan energi panas dan dapat meningkatkan jumlah residu pembakaran serta menurunkan kualitas bahan bakar padat (Walozi et al., 2026).

Sejalan dengan penurunan kadar air dan zat terbang, kandungan karbon terikat (*fixed carbon*) meningkat dari

62,30% menjadi 68,70%. Peningkatan *fixed carbon* menunjukkan bahwa sebagian besar komponen non-karbon telah terdekomposisi selama proses aktivasi sehingga fraksi karbon padat menjadi lebih dominan (Wu et al., 2025). Kandungan karbon terikat yang tinggi umumnya berkorelasi positif dengan peningkatan nilai kalor karena karbon merupakan komponen utama yang menghasilkan energi selama proses pembakaran (Nuryawan et al., 2025). Oleh karena itu, briket yang diaktivasi pada temperatur 800 °C diperkirakan memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan sampel 600 °C. Selain itu, kandungan *fixed carbon* yang tinggi menyebabkan laju pembakaran berlangsung lebih lambat namun lebih stabil, sehingga lama pembakaran menjadi lebih panjang. Sebaliknya, briket dengan kadar zat terbang yang tinggi cenderung lebih mudah menyala dan memiliki laju pembakaran awal yang lebih cepat, tetapi durasi pembakarannya relatif lebih singkat (Walozi et al., 2026). Dengan demikian, hasil uji proksimat memberikan gambaran awal mengenai kualitas briket dan menjadi dasar untuk menginterpretasikan hasil pengujian nilai kalor, laju pembakaran, dan lama pembakaran.

Hasil uji nilai kalor ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai kalor briket meningkat seiring dengan kenaikan temperatur aktivasi karbon, yaitu dari 4.253 kal/g pada 600 °C menjadi 4.768 kal/g pada 800 °C. Sebagai pembandingan, (Chantona et al., 2026) melaporkan bahwa biopellet tanpa proses aktivasi yang dibuat dari 100% serbuk kayu mahoni menghasilkan nilai kalor sebesar 4.004,43 kal/g. Nilai tersebut lebih rendah daripada rentang nilai kalor briket karbon aktif pada penelitian ini, yaitu 4.253–4.768 kal/g. Perbandingan ini memberikan indikasi bahwa proses aktivasi karbon berpotensi meningkatkan kualitas termal bahan bakar padat berbasis serbuk kayu mahoni, meskipun perbedaan bentuk produk dan proses densifikasi perlu dipertimbangkan. Peningkatan nilai kalor berkaitan dengan penurunan kadar air dan zat terbang serta peningkatan kandungan karbon terikat pada briket. Kandungan karbon terikat yang lebih tinggi memungkinkan pelepasan energi yang lebih besar selama pembakaran (Nuryawan et al., 2025). Dengan demikian, briket yang dibuat dari karbon hasil aktivasi pada 800 °C menghasilkan nilai kalor tertinggi di antara variasi yang diuji. Hasil ini sejalan dengan karakterisasi XRD yang menunjukkan adanya peningkatan keteraturan struktur karbon meskipun material masih didominasi oleh fase amorf, sehingga proses

pembakaran berlangsung lebih efisien dibandingkan sampel dengan temperatur aktivasi yang lebih rendah.

Selain meningkatkan nilai kalor, kenaikan temperatur aktivasi juga menyebabkan laju pembakaran menurun dari 0,113 g/menit pada temperatur 600 °C menjadi 0,093 g/menit pada temperatur 800 °C. Penurunan laju pembakaran menunjukkan bahwa briket terbakar secara lebih perlahan dan stabil. Fenomena ini dipengaruhi oleh meningkatnya kandungan karbon terikat serta menurunnya kadar zat terbang sebagaimana ditunjukkan pada hasil analisis proksimat. Kandungan zat terbang yang rendah menyebabkan proses pelepasan senyawa mudah terbakar berlangsung lebih sedikit sehingga pembakaran didominasi oleh oksidasi karbon padat (*char combustion*), yang umumnya berlangsung lebih lambat dibandingkan pembakaran senyawa volatil (Walozi et al., 2026). Oleh karena itu, briket hasil aktivasi pada temperatur 800 °C memiliki kestabilan pembakaran yang lebih baik dibandingkan sampel lainnya.

Tabel 2. Hasil uji nilai kalor, laju pembakaran, dan lama pembakaran briket berbasis serbuk kayu mahoni

Temperatur Aktivasi (°C)	Nilai Kalor (kal/g)	Laju Pembakaran (g/menit)	Lama Pembakaran (menit)
600	4.253	0,113	41,8
700	4.587	0,102	47,6
800	4.768	0,093	54,9

Penurunan laju pembakaran berpengaruh terhadap lama pembakaran briket. Hasil pengujian menunjukkan bahwa lama pembakaran meningkat dari 41,8 menit pada temperatur aktivasi 600 °C menjadi 54,9 menit pada temperatur 800 °C. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kandungan karbon terikat menghasilkan pelepasan energi yang lebih bertahap sehingga briket mampu mempertahankan proses pembakaran dalam waktu yang lebih lama. Durasi pembakaran yang panjang merupakan salah satu karakteristik yang diharapkan pada bahan bakar padat karena mampu meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi serta mengurangi frekuensi penambahan bahan bakar selama penggunaan. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur aktivasi memberikan pengaruh positif terhadap kualitas pembakaran briket, yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai kalor, menurunnya laju pembakaran, dan bertambahnya lama pembakaran.

Hasil tersebut konsisten dengan karakterisasi XRD dan analisis proksimat yang menunjukkan meningkatnya derajat karbonisasi dan kandungan karbon terikat pada temperatur aktivasi yang lebih tinggi

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi dan pengujian yang telah dilakukan, peningkatan temperatur aktivasi karbon aktif dari 600 °C hingga 800 °C memberikan pengaruh terhadap kualitas briket yang dihasilkan. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa karbon aktif yang terbentuk masih didominasi oleh struktur amorf, namun terjadi peningkatan keteraturan struktur seiring dengan meningkatnya temperatur aktivasi. Kondisi tersebut diikuti oleh penurunan kadar air dan zat terbang, peningkatan kandungan karbon terikat (*fixed carbon*), serta sedikit peningkatan kadar abu berdasarkan hasil analisis proksimat. Perubahan karakteristik tersebut berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pembakaran, yang ditunjukkan oleh meningkatnya nilai kalor, menurunnya laju pembakaran, serta bertambahnya lama pembakaran. Dengan demikian, temperatur aktivasi 800 °C menghasilkan briket karbon aktif dengan karakteristik paling baik dibandingkan temperatur aktivasi 600 °C dan 700 °C, sehingga berpotensi memberikan performa yang lebih optimal sebagai bahan bakar padat.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan kontribusi selama proses penelitian ini, mulai dari persiapan sampel hingga penyusunan naskah artikel. Bantuan, kerja sama, serta masukan yang diberikan sangat berarti sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

6. Referensi

- Akhator, P. E., Bazuaye, L., Ewere, A., & Oshiohai, O. (2023). Production and characterisation of solid waste-derived fuel briquettes from mixed wood wastes and waste pet bottles. *Heliyon*, 9(e21432), 1–11.
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21432>
- Alouiz, I., Benhadj, M., Harboul, K., Boukhris, M., Elmontassir, D., Sennoune, M., Amarouch, M. Y., & Mazouzi, D. (2025). Activated carbon from olive pomace for hexavalent chromium removal: synthesis, characterization, and adsorption mechanism analysis. *Scientific Reports*, 15(18576),

- 1–16. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-95278-2>
- Antil, B., Olhan, S., & Vander Wal, R. L. (2025). Production of Graphitic Carbon from Renewable Lignocellulosic Biomass Source. *Minerals*, 15(262), 1–11. <https://doi.org/10.3390/min15030262>
- Arisandi, R., Takahashi, K., Nirsatmanto, A., Sunarti, S., Rimbawanto, A., Putri, A. I., Kartikawati, N. K., Haryjanto, L., Herawan, T., Lestari, F., & Lukmandaru, G. (2024). Analysis of Lipophilic Constituents Related to Heartwood Formation in Young Swietenia mahagoni (L.) Jacq Trees. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 52(1), 13–30. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2024.52.1.13>
- Arundina, R. Y., Permana, I., Togatorop, E. R. S., Ismadi, I., Kusumah, S. S., Budiman, I., Subyakto, S., & Marlina, R. (2021). Synthesis and Characterization of Activated Carbon from Lignocellulosic Biomass: Oil Palm Empty Fruit Bunches and Mahogany Sawdust. *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 10(2), 81–88. <https://doi.org/10.15294/jbat.v10i2.33488>
- Bagbi, Y., Yomgam, P., Libang, E., Boruah, B., Kaur, J., Jayanthi, S., Kumar, S., & Dhanial, N. K. (2024). Waste bamboo-derived magnetically separable bamboo-activated carbon: from characterization to effective remediation of fluoride (F⁻) ions from water. *RSC Advances*, 14(34), 24952–24968. <https://doi.org/10.1039/d4ra03752a>
- Barakat, N. A. M., Mahmoud, M. S., & Moustafa, H. M. (2024). Comparing specific capacitance in rice husk-derived activated carbon through phosphoric acid and potassium hydroxide activation order variations. *Scientific Reports*, 14(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-49675-0>
- Chantona, J., Mahdie, M. F., & Abidin, Z. (2026). Karakteristik Biopellet Serbuk Kayu Mahoni (Swietenia mahagoni) dan Sekam Padi (Oryza sativa). *Jurnal Sylva Scientiae*, 09(2), 303–314. <https://doi.org/10.20527/jss.v9i2.18945>
- Deepti, Awasthi, D., Pal, K., Patra, T. K., Gakkhar, N., & Toor, A. P. (2026). Biomass densification pathways for India: An overview on technologies, characterization, testing, challenges and economics. *Energy for Sustainable Development*, 90(101878), 1–26. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101878>
- Farma, R., Julita, R. I., Apriyani, I., Awitdrus, A., & Taer, E. (2023). ZnCl₂-assisted synthesis of coffee bean bagasse-based activated carbon as a stable material for high-performance supercapacitors. *Materials Today: Proceedings*, 87, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.01.370>
- Fletcher, A., Somorin, T., & Aladeokin, O. (2024). Production of High Surface Area Activated Carbon from Peanut Shell by Chemical Activation with Zinc Chloride: Optimisation and Characterization. *Bioenergy Research*, 17(1), 467–478. <https://doi.org/10.1007/s12155-023-10683-7>
- Gebrezgabher, B. T., Desta, M. B., & Belete, F. A. (2025). Production and characterization of charcoal briquettes from sesame stalks as an alternative energy source. *Materials for Renewable and Sustainable Energy*, 14(23), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s40243-024-00286-3>
- Guo, J., Zhang, Y., Fang, J., Ma, Z., Li, C., Yan, M., Qiao, N., Liu, Y., & Bian, M. (2024). Reduction and Reuse of Forestry and Agricultural Bio-Waste through Innovative Green Utilization Approaches: A Review. *Forests*, 15(1372), 1–23. <https://doi.org/10.3390/f15081372>
- Hairudin, N. A. M., Yahya, N. Y., & Lee, Y. S. (2025). Pilot evaluation of carbonization temperature and binder percentage on the properties of construction and demolition waste briquettes. *Next Research*, 2(100440), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.100440>
- Halimatussadiah, A., Kruger, W., Wagner, F., Afifi, F. A. R., Lufti, R. E. G., & Kitzing, L. (2024). The country of perpetual potential: Why is it so difficult to procure renewable energy in Indonesia? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 201(114627), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114627>
- Hallad, S. C., Panwar, N. L., & Kavan Kumar, V. (2025). Investigating the carbon reduction potential of carbon derived from sugarcane Bagasse. *Discover Sustainability*, 6(1130), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01921-3>
- Haryanto, A., Hidayat, W., Hasanudin, U., Iryani, D. A., Kim, S., Lee, S., & Yoo, J. (2021). Valorization of Indonesian wood wastes through pyrolysis: A review. *Energies*, 14(1407), 1–25. <https://doi.org/10.3390/en14051407>
- Jayakumar, M., Hamda, A. S., Abo, L. D., Daba, B. J., Venkatesa Prabhu, S., Rangaraju, M., Jabesa, A., Periyasamy, S., Suresh, S., & Baskar, G. (2023). Comprehensive review on lignocellulosic biomass derived biochar production, characterization, utilization and applications. *Chemosphere*, 345(140515), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140515>
- Karim, A. R., Danish, M., Alam, M. G., & Seng, T. G. (2024). Effect of different ratio KOH treatment on neem

- bark in the formation of activated carbon: Adsorption characteristics study. *Surfaces and Interfaces*, 55(105476), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.surf.2024.105476>
- Kumaravel, S., Geetha, M., Niyitanga, T., Kumar, D. S., Al-Ansari, M. M., Mythili, R., Suganthi, S., Gunganathan, L., Murugan, A., & Ragupathy, S. (2024). Preparation and characterization of activated carbon from corn cob by chemical activation and their adsorption of brilliant green dye from wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, 188, 1338–1345. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2024.05.127>
- Kundu, S., Khandaker, T., Anik, M. A. A. M., Hasan, M. K., Dhar, P. K., Dutta, S. K., Latif, M. A., & Hossain, M. S. (2024). A comprehensive review of enhanced CO₂ capture using activated carbon derived from biomass feedstock. *RSC Advances*, 14(40), 29693–29736. <https://doi.org/10.1039/d4ra04537h>
- Liu, X., Liu, M., Ma, C., Yu, H., Yu, W., & Liu, W. (2026). Research and Perspectives on Surface Functional Group Characterization of Activated Carbon Catalysts. *Catalysts*, 16(558), 1–21. <https://doi.org/10.3390/catal16060558>
- Long, J., He, P., Przystupa, K., Wang, Y., & Kochan, O. (2024). Preparation of Oily Sludge-Derived Activated Carbon and Its Adsorption Performance for Tetracycline Hydrochloride. *Molecules*, 29(4), 1–14. <https://doi.org/10.3390/molecules29040769>
- Manimekala, T., Sivasubramanian, R., Dar, M. A., & Dharmalingam, G. (2025). Crafting the architecture of biomass-derived activated carbon via electrochemical insights for supercapacitors: a review. *RSC Advances*, 15(4), 2490–2522. <https://doi.org/10.1039/d4ra07682f>
- Meadows, D. A., Clouse, D. E., Adhikari, S., & Davis, V. A. (2023). Prediction of structural properties of activated carbons derived from lignocellulosic biomass components using mixture design of experiments. *Materials Chemistry and Physics*, 303(127715), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2023.127715>
- Mishra, R. K., Singh, B., & Acharya, B. (2024). A comprehensive review on activated carbon from pyrolysis of lignocellulosic biomass: An application for energy and the environment. *Carbon Resources Conversion*, 7(100228), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.crcon.2024.100228>
- Nakimuli, C. N., Kaggwa, F., De Greef, J., Okot, D. K., Blondeau, J., & Kawuma, S. (2025). Review of machine learning applications for predicting the quality of biomass briquettes for sustainable and low-carbon energy solutions. *Green Energy and Resources*, 3(100130), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2025.100130>
- Nganko, J. M., Koffi, E. P. M., Gbaha, P., Toure, A. O., Kane, M., Ndiaye, B., Faye, M., Nkouna, W. M., Tiogue Tekounegning, C., Bile, E. E. J., & Yao, K. B. (2024). Modeling and optimization of compaction pressure, binder percentage and retention time in the production process of carbonized sawdust-based biofuel briquettes using response surface methodology (RSM). *Heliyon*, 10(3), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25376>
- Ngene, G. I., Bouesso, B., González Martínez, M., & Nzihou, A. (2024). A review on biochar briquetting: Common practices and recommendations to enhance mechanical properties and environmental performances. *Journal of Cleaner Production*, 469(143193), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143193>
- Nuryawan, A., Simatupang, J., Risnasari, I., Nur, T. Bin, Fatriasari, W., Basyuni, M., Tambunan, H., Utami, S. S., & Jeong, B. (2025). Physical, chemical, mechanical, and thermal properties of charcoal briquettes produced from mangrove branch wood. *Frontiers in Materials*, 12(1611316), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fmats.2025.1611316>
- Ondari, B. O., Kimutai, S., & Mukubwa, E. (2025). Combustion Characteristics of Briquettes of Different Feed-Stock of Agricultural Wastes a Review. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS)*, X(VI), 1654–1662. <https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2025.100600124>
- Prahesti, A. Y. P., Anggita, S. R., & Kusuma, H. H. (2025). Effect of Carbonization Temperature on Pore Formation and Adsorption Ability of Coconut Shell Activated Carbon with KOH Activator. *JFA (Jurnal Fisika Dan Aplikasinya)*, 21(3), 83–86. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v21i3.21624>
- Prasetyo, D. A., Violita, E. A., Sholikah, U., & Astuti, U. P. (2025). Pengaruh Komposisi Campuran dan Ukuran Butiran terhadap Kualitas Briket Arang dari Limbah Serbuk Kayu Mahoni (*Swietenia macrophylla*) dengan Perekat Daun Jarak Pagar (*Jatropha curcas*). *J-TETA: Jurnal Teknik Terapan*, 4(2), 120–127. <https://doi.org/10.25047/jteta.v4i2.65>
- Putra, N. R., Veza, I., & Irianto, I. (2024). Harnessing wood waste for sustainable biofuel: A bibliometric analysis and review of valorisation strategies.

- Waste Management Bulletin*, 2(4), 209–222.
<https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.11.006>
- Rusman, L. O., Lestari, L., Raharjo, S., Usman, I., & Chrismiwhadani, D. (2023). Pengaruh Temperatur Aktivasi Terhadap Kualitas Briket Arang Aktif Sekam Padi. *JoP (Journal Online of Physics)*, 8(3), 39–46. <https://doi.org/10.22437/jop.v8i3.23846>
- Saputra, D. A., Pratoto, A., Rahman, M. F., & Kodama, A. (2024). The Effect of Chemical Activation Agents and Activation Temperature on the Pore Structure of Rice Husk-Derived Activated Carbon. *Malaysian Journal of Science*, 43(sp1), 1–7. <https://doi.org/10.22452/mjs.vol43sp1.1>
- Sayed, N. S. M., Ahmed, A. S. A., Abdallah, M. H., & Gouda, G. A. (2024). ZnO@ activated carbon derived from wood sawdust as adsorbent for removal of methyl red and methyl orange from aqueous solutions. *Scientific Reports*, 14(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-55158-7>
- Silas, K., Ibrahim, N. A., Isah, U. A., Mohammed, H. D., Undiandeye, J., Ngulde, A. B., & Babagana, G. (2025). Optimizing sustainable briquette production by utilizing local feedstock. *Measurement: Energy*, 8(100074), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.meane.2025.100074>
- Solórzano, R., Paquiyauri, A., Neyra, W., Siqueira-Bahia, R. de C., & Vallejos-Torres, G. (2025). Analysis of binder proportions on the calorific value in a briquette made from cocoa pod husk in the Peruvian Amazon. *Frontiers in Energy Research*, 13(1661636), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1661636>
- Spencer, W., Senanayake, G., Altarawneh, M., Ibana, D., & Nikoloski, A. N. (2024). Review of the effects of coal properties and activation parameters on activated carbon production and quality. *Minerals Engineering*, 212(108712), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2024.108712>
- Tsai, C. H., & Tsai, W. T. (2023). Optimization of Physical Activation Process by CO₂ for Activated Carbon Preparation from Honduras Mahogany Pod Husk. *Materials*, 16(6558), 1–11. <https://doi.org/10.3390/ma16196558>
- Ullah, S., Shah, S. S. A., Altaf, M., Hossain, I., El Sayed, M. E., Kallel, M., El-Bahy, Z. M., Rehman, A. ur, Najam, T., & Nazir, M. A. (2024). Activated carbon derived from biomass for wastewater treatment: Synthesis, application and future challenges. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 179(106480), 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2024.106480>
- Walozi, R., Onep, G. S., Sanusi, Y. S., Babiker, O. E., Dennison, M. S., Candia, A., & Okurut, S. (2026). A comprehensive review of chemical treatments for biomass feedstock to enhance briquette characteristics. *Discover Sustainability*, 7(717), 1–53. <https://doi.org/10.1007/s43621-026-03045-8>
- Wei, S., Tan, Z., Liu, Z., Zuo, H., Xia, Y., & Zhang, Y. (2024). Removal of methyl orange dye by high surface area biomass activated carbon prepared from bamboo fibers. *Industrial Crops and Products*, 218(118991), 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118991>
- Wu, M., Wei, K., Jiang, J., Xu, B. Bin, & Ge, S. (2025). Advancing green sustainability: A comprehensive review of biomass briquette integration for coal-based energy frameworks. *International Journal of Coal Science and Technology*, 12(44), 1–26. <https://doi.org/10.1007/s40789-025-00779-0>
- Yanti, I. F., Wibawa, P. J., & Mukimin, A. (2024). Fabrication of Coconut Shell-Derived Graphitic Activated Carbon for Carbon-based Electrode Materials. *Jurnal Kimia Sains Dan Aplikasi*, 27(9), 456–463. <https://doi.org/10.14710/jksa.27.9.456-463>
- Yiga, V. A., Nuwamanya, A., Birungi, A., Lubwama, M., & Lubwama, H. N. (2023). Development of carbonized rice husks briquettes: Synergy between emissions, combustion, kinetics and thermodynamic characteristics. *Energy Reports*, 9, 5977–5991. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.05.066>
- Yirijor, J., & Bere, A. A. T. (2024). Production and characterization of coconut shell charcoal-based bio-briquettes as an alternative energy source for rural communities. *Heliyon*, 10(e35717), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35717>
- Yogamalar, N. R., Chithambararaj, A., & Bhagya Mathi, D. (2025). Advancing sustainability through biomass-derived carbon activation for high porosity and surface area in electrochemical capacitance. *Journal of Power Sources*, 647(237324), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2025.237324>
- Zazira, A. Z., Fachraniah, & Ridwan. (2024). Pengaruh Jenis Aktivator Terhadap Karakteristik Karbon Aktif Berbahan Ampas Tebu. *Jurnal Teknologi*, 24(1), 9–15. <https://doi.org/10.30811/teknologi.v24i1.4973>
- Zerin, N. H., Rasul, M. G., Jahirul, M. I., Sayem, A. S. M., Quadir, Z., & Haque, R. (2025). XRD Characterization of Activated Carbons Synthesized from Tyre Pyrolysis Char via KOH Activation. *Technologies*, 13(565), 1–12. <https://doi.org/10.3390/technologies13120565>

Zuo, Y., Feng, J., Soyol-Erdene, T. O., Wei, Z., Hu, T., Zhang, Y., & Tang, W. (2023). Recent advances in wood-derived monolithic carbon materials: Synthesis approaches, modification methods and environmental applications. *Chemical Engineering Journal*, 463(142332), 1–17. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142332>