

Peran Komposisi Lignoselulosa dalam Menentukan Karakter Termokimia dan Kualitas Energi Briket Arang Berbasis Pelepah Aren (*Arenga pinnata* Merr.)

Febriana Tri Wulandari*, Aluh Nikmatullah, Sitti Latifah, Hayati Zakaria

Progam Studi Doktor Pertanian Berkelanjutan, Program Pascasarjana, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Gomong, Kota Mataram, Indonesia 83115.

Email Korespondensi: febriana.wulandari@unram.ac.id

Abstrak

Pelepah aren (*Arenga pinnata* Merr.) merupakan limbah biomassa lignoselulosa yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku briket arang berbasis biomassa lokal. Penelitian ini bertujuan menganalisis komposisi lignoselulosa pelepah aren sebagai dasar awal penilaian potensi bahan baku karbonisasi. Penelitian ini merupakan studi deskriptif-komposisional yang dilaksanakan pada Januari–Maret 2026 menggunakan sampel pelepah aren dari kawasan HKm Aik Bual, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Analisis kimia meliputi kadar holoselulosa, α -selulosa, dan lignin menggunakan metode standar analisis biomassa. Data dianalisis secara deskriptif menggunakan rata-rata, standar deviasi (SD), dan koefisien variasi (CV). Hasil penelitian menunjukkan kandungan holoselulosa 73,75%, α -selulosa 43,42%, dan lignin 30,71%. Komposisi tersebut menunjukkan dominasi fraksi karbohidrat struktural dengan kandungan lignin relatif tinggi. Berdasarkan karakter kimianya, pelepah aren mengindikasikan potensi sebagai bahan baku pembentukan arang melalui karbonisasi; namun penelitian ini belum mencakup uji karbonisasi, analisis proksimat, nilai kalor, karakterisasi pori, maupun performa pembakaran. Oleh karena itu, potensi pelepah aren sebagai bahan baku briket arang perlu divalidasi lebih lanjut melalui produksi briket dan pengujian mutu bahan bakar padat secara eksperimental.

Kata kunci: Arenga Pinnata; Biomassa Lignoselulosa; Briket Arang; Karbonisasi; lignin; Pelepah Aren.

*The Role of Lignocellulosic Composition in Determining the Thermochemical Characteristics and Energy Quality of Charcoal Briquettes Based on Sugar Palm Fronds (*Arenga pinnata* Merr.)*

Abstract

Sugar palm fronds (*Arenga pinnata* Merr.) are lignocellulosic biomass residues with potential use as a raw material for charcoal briquettes based on local biomass resources. This study aimed to analyze the lignocellulosic composition of sugar palm fronds as an initial basis for assessing their potential as a carbonization feedstock. This research was designed as a descriptive-compositional study conducted from January to March 2026 using sugar palm frond samples collected from the Aik Bual Community Forest area, Central Lombok, West Nusa Tenggara, Indonesia. Chemical analysis included the determination of holocellulose, α -cellulose, and lignin contents using standard biomass analysis methods. The data were analyzed descriptively using the mean, standard deviation (SD), and coefficient of variation (CV). The results showed that sugar palm fronds contained 73.75% holocellulose, 43.42% α -cellulose, and 30.71% lignin. This composition indicates the dominance of structural carbohydrate fractions with a relatively high lignin content. Based on these chemical characteristics, sugar palm fronds indicate potential as a raw material for charcoal formation through carbonization. However, this study did not include carbonization trials, proximate analysis, calorific value measurement, pore characterization, or combustion performance testing. Therefore, the potential of sugar palm fronds as a raw material for charcoal briquettes needs to be further validated through actual briquette production and experimental testing of solid fuel quality.

Keywords: Arenga Pinnata; Lignocellulosic Biomass; Charcoal Briquettes; Carbonization; lignin; Sugar Palm Fronds.

How to Cite: Wulandari, F. T., Nikmatullah, A., Latifah, S., & Zakaria, H. (2026). Peran Komposisi Lignoselulosa dalam Menentukan Karakter Termokimia dan Kualitas Energi Briket Arang Berbasis Pelepah Aren (*Arenga pinnata* Merr.). *Empiricism Journal*, 7(2), 1419-1429. <https://doi.org/10.36312/ej.v7i2.5632>



<https://doi.org/10.36312/ej.v7i2.5632>

Copyright© 2026, Wulandari et al.

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi, keterbatasan cadangan bahan bakar fosil, serta meningkatnya tekanan untuk menurunkan dampak lingkungan dari sistem energi konvensional mendorong pengembangan sumber energi terbarukan yang lebih berkelanjutan.

Salah satu sumber energi alternatif yang banyak dikaji adalah biomassa lignoselulosa, karena bahan ini tersedia melimpah, dapat diperbarui, dan berasal dari berbagai limbah pertanian, perkebunan, maupun kehutanan. Biomassa lignoselulosa juga dipandang sebagai platform penting untuk produksi energi, bahan kimia hayati, dan material berbasis karbon karena komposisi kimianya yang khas dan kemampuannya mengalami konversi termokimia (Isikgor & Becer, 2015; Bridgwater, 2012). Dalam konteks energi padat, pemanfaatan biomassa sebagai bahan baku arang dan briket arang berpotensi mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil sekaligus meningkatkan nilai tambah limbah organik yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal.

Secara umum, biomassa lignoselulosa tersusun atas fraksi utama berupa holoselulosa, selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Komponen-komponen tersebut memiliki struktur kimia, tingkat keteraturan molekuler, dan stabilitas termal yang berbeda, sehingga menentukan respons bahan selama proses karbonisasi dan pirolisis. Selulosa, khususnya alfa-selulosa, merupakan polisakarida struktural dengan organisasi mikrofibril yang relatif teratur dan berkontribusi terhadap kekuatan jaringan tanaman (Rowell, 2012; Jarvis, 2023). Sementara itu, hemiselulosa memiliki struktur lebih amorf dan bercabang sehingga cenderung lebih mudah mengalami degradasi termal. Lignin berbeda dari kedua komponen tersebut karena tersusun atas unit aromatik kompleks yang lebih tahan terhadap pemanasan dan berperan penting dalam pembentukan residu karbon selama konversi termal (Zakzeski et al., 2010; Rinaldi et al., 2018).

Perbedaan perilaku termal antarfraksi lignoselulosa menjadi dasar penting dalam menilai potensi biomassa sebagai bahan baku karbonisasi. Hemiselulosa umumnya terdegradasi pada suhu lebih rendah, diikuti oleh selulosa pada suhu menengah, dengan menghasilkan zat volatil, tar, gas, dan residu karbon awal. Sebaliknya, lignin mengalami degradasi pada rentang suhu yang lebih luas dan cenderung menghasilkan arang dengan stabilitas termal lebih tinggi (Yang et al., 2007; Wang et al., 2019). Kajian terbaru juga menunjukkan bahwa struktur lignin, derajat kristalinitas selulosa, dan interaksi antarkomponen lignoselulosa dapat memengaruhi pembentukan karbon terikat, nilai kalor, serta perkembangan struktur pori pada produk karbonisasi (Chen et al., 2021; Figueiredo et al., 2021; Martínez et al., 2023; Jerzak et al., 2024). Oleh karena itu, karakterisasi komposisi lignoselulosa dapat digunakan sebagai dasar awal untuk memprediksi kecenderungan bahan dalam menghasilkan arang sebelum dilakukan pengujian mutu briket secara langsung.

Salah satu sumber biomassa lokal yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku energi padat adalah pelepah aren (*Arenga pinnata* Merr.). Tanaman aren banyak ditemukan di wilayah tropis Indonesia dan memiliki nilai ekonomi melalui produk seperti nira, gula aren, ijuk, dan buah. Selain produk utama tersebut, tanaman aren juga menghasilkan limbah biomassa berupa pelepah yang umumnya belum dimanfaatkan secara optimal. Di kawasan Hutan Kemasyarakatan (HKm) Aik Bual, Lombok Tengah, pelepah aren tersedia sebagai limbah dari aktivitas pemeliharaan dan pemanfaatan tanaman aren. Secara fisik, pelepah aren memiliki struktur berserat yang mengindikasikan keberadaan komponen lignoselulosa. Karakter ini menjadikan pelepah aren potensial untuk dikaji sebagai bahan baku karbonisasi dan briket arang berbasis sumber daya lokal.

Namun, penilaian potensi pelepah aren sebagai bahan baku energi padat tidak cukup hanya didasarkan pada ketersediaan dan karakter fisiknya. Informasi mengenai komposisi kimia, terutama kandungan holoselulosa, alfa-selulosa, dan lignin, diperlukan untuk membangun dasar ilmiah sebelum bahan tersebut diproses lebih lanjut. Kandungan lignin sering dikaitkan dengan peningkatan pembentukan arang, karbon terikat, dan stabilitas termal, sedangkan kandungan selulosa dan hemiselulosa berpengaruh terhadap pelepasan zat volatil serta pembentukan struktur awal residu karbon (Kumar et al., 2020; Zhao et al., 2022). Pada biomassa tropis, variasi komposisi lignoselulosa juga dilaporkan berpengaruh terhadap nilai kalor, kestabilan nyala, kekuatan mekanik, dan performa pembakaran briket arang (Salazar et al., 2022; González et al., 2024; Patel et al., 2025; Wulandari & Lestari, 2025).

Berbagai penelitian mengenai briket arang berbasis biomassa umumnya lebih menitikberatkan pada mutu produk akhir, seperti kadar air, kadar abu, zat terbang, karbon terikat, nilai kalor, densitas, kuat tekan, dan laju pembakaran. Pendekatan tersebut penting untuk menentukan kualitas bahan bakar padat, tetapi belum selalu menjelaskan karakter

kimia awal bahan baku yang memengaruhi pembentukan arang. Padahal, perbedaan kandungan holoselulosa, alfa-selulosa, dan lignin antarjenis biomassa dapat menyebabkan perbedaan perilaku karbonisasi, rendemen arang, dan stabilitas produk karbon yang dihasilkan (Xu et al., 2020; Wulandari et al., 2023). Dengan demikian, analisis komposisi lignoselulosa diperlukan sebagai tahap awal untuk melengkapi kajian mutu briket yang umumnya dilakukan pada tahap akhir.

Pada pelepah aren, informasi mengenai komposisi lignoselulosa sebagai dasar awal penilaian potensi karbonisasi masih relatif terbatas, terutama untuk bahan yang berasal dari kawasan HKm Aik Bual. Keterbatasan data ini menyebabkan pemanfaatan pelepah aren sebagai bahan baku briket arang belum memiliki dasar komposisional yang kuat. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis komposisi lignoselulosa pelepah aren yang meliputi holoselulosa, alfa-selulosa, dan lignin. Kebaruan penelitian ini terletak pada penyediaan data awal komposisi lignoselulosa pelepah aren dari kawasan HKm Aik Bual sebagai dasar penilaian awal potensi bahan baku briket arang. Berbeda dari penelitian yang langsung mengevaluasi mutu produk akhir, penelitian ini membatasi ruang lingkup pada karakter kimia bahan baku dan interpretasi awal terhadap implikasi termokimia berdasarkan literatur. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menyimpulkan mutu energi briket secara langsung, melainkan sebagai dasar awal bagi penelitian lanjutan yang mencakup proses karbonisasi aktual, analisis proksimat, nilai kalor, karakterisasi pori, serta uji performa pembakaran briket.

METODE

Desain dan ruang lingkup penelitian

Penelitian ini menggunakan desain deskriptif-kuantitatif laboratoris dengan pendekatan karakterisasi komposisi lignoselulosa biomassa. Penelitian difokuskan pada analisis kandungan holoselulosa, α -selulosa, dan lignin pada pelepah aren (*Arenga pinnata* Merr.) sebagai dasar awal untuk menilai potensi bahan baku karbonisasi dan briket arang. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada karakterisasi kimia bahan baku, sehingga tidak mencakup proses karbonisasi aktual, pembuatan briket, analisis proksimat, pengukuran nilai kalor, karakterisasi pori, maupun uji performa pembakaran. Oleh karena itu, interpretasi mengenai potensi termokimia dan kualitas energi briket dalam penelitian ini bersifat indikatif dan didasarkan pada hubungan komposisi lignoselulosa dengan perilaku karbonisasi menurut literatur.

Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Januari–Maret 2026. Bahan penelitian berupa limbah pelepah aren diperoleh dari kawasan Hutan Kemasyarakatan (HKm) Aik Bual, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat. Lokasi tersebut dipilih karena memiliki ketersediaan tanaman aren dan menghasilkan limbah pelepah dari aktivitas pemeliharaan maupun pemanfaatan tanaman aren. Pemilihan bahan dilakukan secara purposif terhadap pelepah yang merepresentasikan limbah biomassa aren yang umum ditemukan di lokasi penelitian.

Bahan dan preparasi sampel

Bahan utama yang digunakan adalah pelepah aren yang telah dipisahkan dari sisa daun, tanah, dan kontaminan permukaan. Sampel pelepah kemudian dipotong menjadi ukuran kecil, dikeringkan hingga mencapai kondisi kering, digiling menjadi serbuk, dan diayak untuk memperoleh ukuran partikel yang relatif seragam. Serbuk hasil ayakan dihomogenkan untuk mengurangi variasi komposisi antarbagian bahan.

Dari serbuk homogen tersebut disiapkan tiga ulangan kerja yang diberi kode P1, P2, dan P3. Ketiga ulangan ini digunakan untuk memperoleh data komposisi kimia secara deskriptif, bukan sebagai perlakuan eksperimental. Dengan demikian, variasi data yang ditampilkan dalam hasil penelitian menggambarkan konsistensi hasil analisis laboratorium terhadap bahan yang sama, bukan pengaruh perbedaan umur tanaman, posisi pelepah, tingkat kematangan jaringan, atau perlakuan karbonisasi. Seluruh hasil analisis dilaporkan berdasarkan berat kering oven.

Analisis kadar holoselulosa

Kadar holoselulosa dianalisis menggunakan prinsip delignifikasi selektif dengan natrium klorit dalam suasana asam sebagaimana umum digunakan pada analisis kimia kayu dan biomassa lignoselulosa (Browning, 1967). Dalam metode ini, lignin dioksidasi dan dipisahkan dari matriks lignoselulosa, sedangkan fraksi selulosa dan hemiselulosa dipertahankan sebagai residu holoselulosa. Residu kemudian disaring, dicuci hingga mendekati netral, dikeringkan hingga berat konstan, dan ditimbang. Kadar holoselulosa dihitung sebagai persentase berat residu terhadap berat awal sampel kering oven.

Analisis kadar α -selulosa

Kadar α -selulosa ditentukan dari fraksi holoselulosa menggunakan larutan NaOH 17,5% berdasarkan prinsip pemisahan selulosa tahan alkali sebagaimana digunakan dalam TAPPI T 203 cm-09 (TAPPI, 2009). Perlakuan alkali melarutkan sebagian besar hemiselulosa dan fraksi selulosa berderajat polimerisasi rendah, sedangkan α -selulosa tertinggal sebagai residu yang lebih stabil. Residu disaring, dicuci hingga netral, dikeringkan hingga berat konstan, dan ditimbang. Kadar α -selulosa dinyatakan sebagai persentase terhadap berat awal sampel kering oven.

Analisis kadar lignin

Kadar lignin dianalisis menggunakan metode Klason atau lignin tidak larut asam dengan mengacu pada prinsip TAPPI T 222 om-15 dan prosedur analisis struktural biomassa NREL (TAPPI, 2015; Sluiter et al., 2012). Sampel kering oven dihidrolisis menggunakan asam sulfat untuk memecah fraksi karbohidrat, sedangkan residu lignin tidak larut dipisahkan melalui penyaringan. Residu kemudian dicuci hingga bebas asam, dikeringkan hingga berat konstan, dan ditimbang. Kadar lignin dihitung sebagai persentase berat residu lignin terhadap berat awal sampel kering oven.

Perhitungan dan analisis data

Kadar masing-masing komponen dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Kadar komponen (\%)} = (\text{berat residu kering oven} / \text{berat awal sampel kering oven}) \times 100$$

Komponen yang dianalisis meliputi holoselulosa, α -selulosa, dan lignin. Dalam penelitian ini, ketiga parameter tersebut tidak diperlakukan sebagai fraksi yang harus dijumlahkan menjadi 100%, karena α -selulosa merupakan bagian dari fraksi selulosa yang termasuk dalam holoselulosa. Dengan demikian, nilai holoselulosa, α -selulosa, dan lignin digunakan untuk menjelaskan karakter komposisional biomassa, bukan sebagai neraca massa lengkap seluruh komponen kimia pelepah aren.

Analisis data

Data hasil pengukuran dari tiga ulangan kerja P1, P2, dan P3 dianalisis secara deskriptif. Parameter statistik yang digunakan meliputi nilai rata-rata, standar deviasi (SD), dan koefisien variasi (CV). Nilai rata-rata digunakan untuk menggambarkan kandungan umum masing-masing komponen lignoselulosa, SD digunakan untuk menunjukkan sebaran data antarulangan, sedangkan CV digunakan untuk menilai tingkat keragaman relatif hasil analisis. Koefisien variasi dihitung menggunakan rumus:

$$\text{CV (\%)} = (\text{SD} / \text{rata-rata}) \times 100$$

Karena penelitian ini tidak menggunakan rancangan perlakuan dan tidak bertujuan membandingkan kelompok sampel, analisis inferensial seperti ANOVA, uji lanjut, atau analisis korelasi tidak diterapkan.

Batasan interpretasi

Interpretasi hasil dibatasi pada karakter kimia pelepah aren berdasarkan kandungan holoselulosa, α -selulosa, dan lignin. Pembahasan mengenai potensi pembentukan arang, karbon terikat, nilai kalor, porositas, dan performa pembakaran disajikan sebagai interpretasi awal berdasarkan literatur mengenai perilaku termokimia biomassa lignoselulosa. Oleh karena itu, hasil penelitian ini tidak dapat digunakan untuk menyimpulkan secara langsung mutu briket arang pelepah aren. Validasi lebih lanjut tetap diperlukan melalui proses

karbonisasi aktual, pembuatan briket, analisis proksimat, pengukuran nilai kalor, karakterisasi struktur pori, serta uji pembakaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kimia pelepah aren meliputi holoselulosa, α -selulosa dan lignin digunakan untuk menilai kelayakan sebagai bahan baku briket arang karena komposisi lignoselulosa menentukan respons bahan saat karbonisasi, rendemen arang yang terbentuk, dan mutu pembakarannya. Holoselulosa dan α -selulosa umumnya lebih mudah terurai dan melepaskan zat volatil, sehingga mempengaruhi pembentukan pori serta potensi asap bila karbonisasi kurang sempurna. Sebaliknya, lignin lebih stabil dan cenderung membentuk arang, sehingga berkontribusi besar terhadap rendemen arang, kadar karbon terikat, kestabilan nyala, serta peningkatan nilai kalor biobriket (Wulandari & Lestari, 2025).

Tabel 1. Hasil Analisis Kimia Pelepah Aren

Sampel	Holoselulosa (%)	Alfa selulosa (%)	Lignin (%)
P1	74,74	42,53	29,24
P2	73,96	43,62	30,10
P3	72,55	44,11	32,78
Rata-rata	73,75	43,42	30,71
SD	1,11	0,81	1,85
CV (%)	1,51	1,86	6,01

Keterangan singkat: $SD = \text{standar deviasi sampel } (n-1); CV (\%) = (SD / \text{Rata-rata}) \times 100\%$

Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa limbah pelepah aren memiliki kandungan holoselulosa 72,55–74,74% (rata-rata 73,75%), alfa selulosa 42,53–44,11% (rata-rata 43,42%), dan lignin 29,24–32,78% (rata-rata 30,71%). Komposisi ini menegaskan bahwa pelepah aren termasuk biomassa lignoselulosa dengan fraksi karbohidrat struktural dominan dan kandungan lignin relatif tinggi, suatu karakter yang sangat relevan dalam produksi briket arang berbasis karbonisasi. Komposisi ini menegaskan bahwa pelepah aren termasuk biomassa lignoselulosa dengan fraksi karbohidrat struktural dominan dan kandungan lignin relatif tinggi, sejalan dengan karakter umum biomassa tropis yang memiliki holoselulosa 65–80% dan lignin 20–35% (Isikgor & Becer, 2015; Chen, 2021). Struktur kimia tersebut sesuai dengan proses karbonisasi karena selulosa dan hemiselulosa membentuk kerangka karbon awal, sementara lignin berkontribusi terhadap rendemen arang dan stabilitas termal (Wang et al., 2019; Zhao et al., 2022).

Holoselulosa

Kandungan holoselulosa yang mencapai $\pm 73,75\%$ pada limbah pelepah aren merefleksikan dominasi fraksi selulosa dan hemiselulosa sebagai komponen utama penyusun dinding sel. Secara komposisional, nilai ini berada dalam rentang tipikal biomassa lignoselulosa tropis (65–80%), sehingga menempatkan pelepah aren sebagai bahan baku dengan karakter kaya karbohidrat struktural (Isikgor & Becer, 2015; Chen et al., 2021). Proporsi tersebut memiliki implikasi langsung terhadap perilaku termal biomassa selama proses karbonisasi, yang pada akhirnya menentukan mutu arang dan performa briket yang dihasilkan. Dalam perspektif termokimia, hemiselulosa merupakan fraksi yang paling labil terhadap panas dan mulai terdegradasi pada suhu sekitar 220–315°C, menghasilkan pelepasan gas volatil seperti CO_2 , CO , CH_4 , serta senyawa organik ringan. Tahap ini diikuti oleh degradasi selulosa pada kisaran 315–400°C melalui mekanisme depolimerisasi dan pemutusan ikatan β -1,4-glikosidik yang menghasilkan senyawa antara seperti levoglukosan dan residu karbon padat (Yang et al., 2007). Pada suhu karbonisasi menengah (± 350 –450°C), kedua proses ini berlangsung secara progresif dan membentuk kerangka karbon mikro setelah volatil terlepas, yang menjadi dasar struktur arang (Wang et al., 2019). Dengan kandungan holoselulosa mendekati 74%, pelepah aren secara teoritis akan mengalami devolatilisasi signifikan yang menghasilkan sistem pori mikro dan meso dalam matriks karbon.

Pembentukan struktur pori tersebut merupakan determinan utama kualitas arang sebagai bahan baku briket. Morfologi pori yang terbentuk selama pirolisis memengaruhi luas permukaan spesifik, difusivitas oksigen, serta kinetika oksidasi karbon selama pembakaran. Arang dengan distribusi pori yang merata memungkinkan penetrasi oksigen yang lebih efisien ke dalam matriks karbon, sehingga reaksi pembakaran berlangsung stabil dan terkendali.

Chen et al. (2021) menjelaskan bahwa struktur internal karbon hasil pirolisis lignoselulosa sangat berkorelasi dengan reaktivitas dan karakteristik pembakaran, termasuk kestabilan nyala dan laju konsumsi massa. Oleh karena itu, kandungan holoselulosa tinggi pada pelepah aren memberikan landasan struktural bagi pembentukan arang dengan potensi reaktivitas pembakaran yang baik, selama parameter karbonisasi dikendalikan secara presisi. Meskipun demikian, tingginya fraksi karbohidrat struktural juga mengindikasikan potensi pembentukan zat terbang yang besar pada tahap awal karbonisasi. Jika proses pemanasan tidak mencapai suhu optimal atau waktu tinggal panas tidak memadai, sebagian volatil dapat tertahan dalam arang, meningkatkan kadar zat terbang pada briket akhir dan berpotensi menurunkan kestabilan pembakaran. Oleh karena itu, pengendalian suhu karbonisasi pada kisaran 400–450°C menjadi krusial untuk memastikan devolatilisasi berlangsung maksimal dan menghasilkan struktur karbon yang lebih aromatik serta termal-stabil (Wang et al., 2019).

Pemanfaatan pelepah aren sebagai bahan baku briket arang menunjukkan bahwa struktur anatomi seratnya yang tersusun longitudinal dan relatif padat turut mendukung integritas mekanik karbon hasil karbonisasi. Setelah arang digiling hingga ukuran partikel seragam dan dipadatkan melalui proses pengepresan, sistem pori internal yang terbentuk dari degradasi holoselulosa akan terdistribusi dalam matriks briket yang kompak. Kombinasi antara densitas eksternal dan porositas internal ini menciptakan keseimbangan antara kekuatan mekanik, kestabilan struktur, dan efisiensi pembakaran. Menurut Jerzak et al. (2024), komponen lignoselulosa biomassa sangat menentukan karakteristik biochar yang dihasilkan, termasuk pembentukan pori, kestabilan termal, dan distribusi karbon selama proses pirolisis biomassa. Selain itu, degradasi selulosa dan hemiselulosa selama karbonisasi berkontribusi terhadap pembentukan struktur pori mikro dan peningkatan luas permukaan karbon, yang berpengaruh langsung terhadap performa pembakaran biomassa padat (Yang et al., 2007). Penelitian Wulandari et al. (2023) juga menjelaskan bahwa biomassa dengan kandungan lignoselulosa tinggi cenderung menghasilkan biobriket dengan kestabilan nyala yang lebih baik, laju pembakaran yang lebih terkontrol, serta struktur karbon yang lebih homogen akibat distribusi pori yang merata setelah proses karbonisasi dan pengepresan. Dengan demikian, secara ilmiah dapat ditegaskan bahwa kandungan holoselulosa $\pm 74\%$ pada pelepah aren tidak hanya merepresentasikan karakter kimia lignoselulosa yang khas, tetapi juga menjadi fondasi termokimia yang mendukung pembentukan arang berpori dengan performa pembakaran yang stabil dan terkontrol, sehingga menjadikan pelepah aren prospektif sebagai bahan baku briket arang berkualitas tinggi.

Alfa Selulosa

Kandungan alfa selulosa sebesar 43,42% pada limbah pelepah aren menunjukkan adanya proporsi selulosa kristalin yang tinggi, yang mencerminkan struktur mikrofibril dengan derajat polimerisasi besar dan stabilitas kimia yang kuat. Alfa selulosa, sebagai fraksi selulosa yang paling murni dan paling terorganisasi, tidak larut dalam pelarut alkali kuat seperti NaOH 17,5%, sehingga keberadaannya sering dianggap indikator kualitas bahan organik untuk konversi termal (Rowell, 2012). Secara struktural, selulosa tersusun dari unit-unit β -D-glukosa yang berulang melalui ikatan $\beta(1\rightarrow4)$ -glikosidik, membentuk rantai panjang linear yang kemudian berinteraksi satu sama lain melalui jaringan ikatan non-kovalen yang kompleks. Dalam wilayah kristalin, rantai-rantai ini tersusun paralel dan rapat sehingga memungkinkan terbentuknya ikatan hidrogen baik intramolekuler maupun antarmolekul, serta interaksi gaya dispersi yang bersama-sama menstabilkan deretan mikrofibril selulosa (Marinho, 2025; Jarvis, 2023; Zhang, 2025). Ikatan-ikatan ini menghubungkan gugus hidroksil ($-\text{OH}$) dari unit glukosa yang berdekatan sehingga menciptakan susunan tiga dimensi yang teratur dan semi-kristalin, memberikan kekuatan mekanik dan resistensi termal yang tinggi pada struktur selulosa (Marinho, 2025; Jarvis, 2023; Zhang, 2025). Selama proses pirolisis atau karbonisasi pada kisaran suhu 315–400°C, selulosa mengalami serangkaian reaksi depolimerisasi dan dehidrasi yang menghasilkan senyawa volatil serta residu karbon padat. Fraksi volatil ini terdiri atas gas ringan seperti CO_2 , CO , CH_4 , dan sejumlah kecil senyawa organik yang ikut memengaruhi proses devolatilisasi (Yang et al., 2007). Sebuah meta-analisis termokimia menunjukkan bahwa selulosa kristalin menghasilkan residu karbon yang lebih stabil dan berstruktur teratur dibandingkan fraksi amorf atau hemiselulosa karena kerangka mikrofibrilnya hanya terurai secara bertahap (Xu et al., 2020). Residu karbon ini, yang

kemudian dikenal sebagai fixed carbon, merupakan fraksi karbon padat yang tersisa setelah pelepasan zat terbang dan menjadi komponen utama dalam arang berkualitas tinggi.

Penelitian pembandingan terbaru oleh Martínez et al. (2023) menemukan bahwa peningkatan derajat kristalinitas selulosa dalam biomassa lignoselulosa berkorelasi positif dengan kenaikan fixed carbon hingga 18–22% setelah karbonisasi, dibandingkan biomassa dengan komposisi selulosa yang lebih rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa kandungan alfa selulosa yang tinggi tidak hanya meningkatkan jumlah residu karbon, tetapi juga memperbaiki sifat makromolekul karbon yang tersisa, menghasilkan struktur karbon dengan densitas lebih tinggi dan luas permukaan internal yang lebih baik. Struktur karbon yang lebih kompak dan berkepadatan tinggi tersebut berimplikasi langsung terhadap mutu briket arang sebagai bahan bakar padat. Fixed carbon yang tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak komponen karbon stabil tersedia untuk pembakaran, sehingga energi yang dilepaskan lebih besar dan berlangsung lebih lama. Penelitian oleh González et al. (2024) pada briket arang yang dibuat dari biomassa tropis dengan selulosa tinggi menunjukkan bahwa fixed carbon berbanding lurus dengan durasi pembakaran dan kestabilan nyala, terutama ketika proses karbonisasi dioptimalkan pada suhu 400–500°C. Di samping itu, selulosa kristalin tidak hanya mempengaruhi fixed carbon tetapi juga memengaruhi sifat mekanik arang dan briket. Struktur karbon yang kompak dan teratur meningkatkan kekuatan mekanik arang, sehingga ketika digiling dan dipadatkan menjadi briket, produk akhir memiliki integritas fisik yang lebih baik, berkurangnya rapuh, serta minim retak setelah pemadatan (Salazar et al., 2022).

Hal ini penting karena kekuatan mekanik briket menentukan ketahanan terhadap rusaknya bentuk saat handling, penyimpanan, dan transportasi, yang secara tidak langsung juga memengaruhi konsistensi pembakaran. Dalam standar mutu bahan bakar padat, terutama *Standar Nasional Indonesia SNI 01-6235-2000*, fixed carbon merupakan parameter mutlak yang harus dipenuhi sebagai indikator kualitas energi. Standar tersebut menetapkan nilai minimal fixed carbon $\geq 60\%$ untuk briket arang kayu berkualitas. Dengan kandungan alfa selulosa yang tinggi, limbah pelepah aren secara teoritis mendukung pembentukan residu karbon yang cukup besar untuk mendekati atau mencapai standar ini bila proses karbonisasi dikendalikan secara optimal. Selanjutnya, penelitian oleh Patel et al. (2025) yang membandingkan berbagai limbah lignoselulosa tropis (termasuk sekam padi, sabut kelapa, dan pelepah palma) melaporkan bahwa biomassa dengan kandungan alfa selulosa di atas 40% secara konsisten menghasilkan arang dengan fixed carbon dan nilai kalor lebih tinggi dibandingkan biomassa dengan selulosa $< 30\%$. Selain itu, nilai kalor hasil karbonisasi lebih stabil, berkisar antara 4500–5500 kcal/kg, bila dibandingkan dengan briket yang berasal dari biomassa dengan selulosa dominan rendah. Secara keseluruhan, secara ilmiah dapat ditegaskan bahwa kandungan alfa selulosa yang tinggi pada pelepah aren memainkan peran kunci dalam pembentukan struktur karbon berkualitas, yang secara langsung meningkatkan fraksi fixed carbon, kestabilan termal, kekuatan mekanik, dan kapasitas energi briket arang yang dihasilkan. Kombinasi ini menjadikan pelepah aren sebagai salah satu bahan baku yang prospektif dan kompetitif untuk produksi briket arang berkinerja tinggi dalam konteks teknologi energi padat modern.

Lignin

Kandungan lignin rata-rata 30,71% pada limbah pelepah aren merupakan parameter kimia yang dominan dan menentukan kualitas arang serta performa energi briket yang dihasilkan melalui proses karbonisasi. Lignin merupakan polimer aromatik kompleks yang terdiri atas unit fenilpropanoid (*guaiacyl*, *syringyl*, dan *p-hydroxyphenyl*) yang saling terhubung melalui ikatan eter dan karbon-karbon, membentuk jaringan tiga dimensi yang kaya karbon dan stabil secara termal (Zakzeski et al., 2010; Rinaldi et al., 2018). Struktur aromatik inilah yang membedakan lignin dari polisakarida seperti selulosa dan hemiselulosa, yang tersusun atas unit glukosa linear tanpa cincin aromatik. Secara termal, lignin memiliki rentang degradasi yang lebih luas, sekitar 250–500°C, dan terurai lebih lambat dibandingkan selulosa (315–400°C) dan hemiselulosa (220–315°C) (Figueiredo et al., 2021). Rentang degradasi yang luas ini memungkinkan lignin tetap bertahan dalam fase pirolisis lanjutan ketika fraksi polisakarida telah terdegradasi, sehingga memberikan kontribusi yang besar terhadap pembentukan residu karbon atau arang. Penelitian oleh Zhao et al., (2022) memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa lignin berkontribusi signifikan terhadap rendemen arang (*char yield*)

karena kecenderungan aromatisasi dan kondensasi strukturnya selama pemanasan. Lignin tidak hanya memberikan rendemen arang yang tinggi tetapi juga meningkatkan karbon terikat (*fixed carbon*) pada produk akhir. *Fixed carbon* adalah fraksi karbon padat yang tersisa setelah zat terbang dilepaskan dan merupakan parameter penting dalam menilai mutu briket arang karena berkorelasi langsung dengan kapasitas energi dan durasi pembakaran (Bridgwater, 2012; Mohan et al., 2021). Jika dibandingkan dengan fraksi polisakarida yang sebagian besar terkonversi menjadi volatil pada tahap awal pirolisis, lignin menghasilkan kerangka karbon aromatik yang lebih stabil dan tahan terhadap oksidasi cepat, sehingga memperpanjang fase pembakaran terkontrol.

Penelitian terkini oleh Martínez et al., (2023) pada briket arang dari limbah lignoselulosa tropis menunjukkan bahwa peningkatan kandungan lignin berkorelasi langsung dengan peningkatan *fixed carbon* hingga lebih dari 20% dibandingkan bahan baku dengan lignin yang lebih rendah. Hasil ini konsisten dengan temuan Wang et al., (2019) yang menunjukkan bahwa lignin memberikan kontribusi utama terhadap produksi arang berkualitas tinggi selama pirolisis karena kecenderungannya menghasilkan struktur karbon yang lebih padat dan energetik. Nilai kalor merupakan parameter lain yang sangat dipengaruhi oleh kandungan lignin. Energi yang dilepaskan selama pembakaran terutama berasal dari oksidasi ikatan karbon; struktur aromatik lignin memiliki ikatan karbon yang lebih banyak dan lebih kuat dibandingkan struktur polisakarida, sehingga secara teoritis menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi (Kumar et al., 2020). Dalam studi komparatif terkini, González et al., (2024) menemukan bahwa arang yang berasal dari biomassa dengan lignin tinggi menghasilkan nilai kalor 4700–5600 kcal/kg, dibandingkan dengan nilai kalor 3800–4600 kcal/kg pada arang dari biomassa dengan lignin rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa lignin tidak hanya meningkatkan *fixed carbon* tetapi juga nilai energi yang tersedia dalam arang. Dalam konteks pelepah aren sebagai bahan baku briket arang, kandungan lignin yang mendekati 31% memberikan keuntungan termokimia yang jelas. Pertama, lignin membantu terbentuknya residu karbon yang lebih tinggi dan stabil selama karbonisasi, yang mendukung pencapaian *fixed carbon* yang baik salah satu parameter utama mutu briket arang dalam standar seperti SNI 01-6235-2000. Kedua, struktur aromatik yang kaya karbon ini memengaruhi peningkatan nilai kalor pada produk akhir, sehingga briket arang dapat memiliki kapasitas energi yang kompetitif. Ketiga, residu karbon aromatik yang padat meningkatkan densitas struktur arang, sehingga briket menjadi lebih kompak dan memiliki kekuatan mekanik yang lebih baik, yang penting untuk handling dan pembakaran yang stabil.

Selain itu, penelitian oleh Patel et al., (2025) yang membandingkan berbagai residu lignoselulosa tropis menunjukkan bahwa biomassa dengan keseimbangan tinggi antara selulosa dan lignin menghasilkan arang dengan struktur pori optimal yaitu porositas yang mendukung difusi oksigen tanpa kehilangan densitas fisik. Hal ini menciptakan kombinasi ideal antara efisiensi pembakaran dan durasi nyala yang panjang. Kombinasi ini menjadikan pelepah aren sebagai bahan baku yang prospektif untuk produksi briket arang berkualitas tinggi, dengan performa pembakaran yang stabil dan nilai energi yang tinggi, terutama apabila proses karbonisasi dikendalikan pada suhu, waktu, dan laju pemanasan yang tepat. Secara keseluruhan, kombinasi holoselulosa tinggi yang mendukung pembentukan struktur pori dan reaktivitas pembakaran, alfa selulosa tinggi yang meningkatkan stabilitas karbon terikat, serta lignin tinggi yang memperbesar rendemen arang dan nilai kalor, menjadikan limbah pelepah aren sebagai bahan baku yang sangat potensial untuk produksi briket arang energi. Dengan karbonisasi terkendali pada kisaran 400–450°C dan proses pengepresan memadai, komposisi kimia ini secara teoritis mampu menghasilkan briket dengan performa fisik dan termal yang memenuhi standar mutu energi padat nasional.

Tabel 2. Hubungan Komposisi Kimia Pelepah Aren dengan Parameter Mutu Briket Arang.

Komponen Kimia	Kisaran (%)	Karakter Termal	Dampak pada Proses Karbonisasi	Implikasi pada Mutu Briket
Holoselulosa	72,55–74,74	Degradasi 220–400°C	Pelepasan volatil dan pembentukan pori	Difusi oksigen baik, nyala stabil, kontrol zat terbang

Komponen Kimia	Kisaran (%)	Karakter Termal	Dampak pada Proses Karbonisasi		Implikasi pada Mutu Briket	
Alfa Selulosa	42,53–44,11	Residu karbon stabil	Pembentukan struktur karbon kompak		Fixed carbon tinggi, waktu bakar lebih lama	
Lignin	29,24–32,78	Degradasi 250–500°C	Rendemen tinggi	arang	Nilai kalor meningkat, karbon terikat tinggi, stabilitas termal baik	

Berdasarkan Tabel 2. komposisi kimia pelepah aren menunjukkan karakteristik lignoselulosa yang mendukung pemanfaatannya sebagai bahan baku briket arang. Holoselulosa yang berkisar 72,55–74,74% memiliki sifat mudah terdegradasi pada suhu 220–400°C sehingga berperan dalam pelepasan zat volatil dan pembentukan pori selama karbonisasi. Kondisi ini mendukung difusi oksigen yang baik dan membantu kestabilan nyala briket, meskipun kadar zat terbang perlu dikontrol melalui proses karbonisasi yang optimal. Kandungan α -selulosa sebesar 42,53–44,11% berkontribusi terhadap pembentukan struktur karbon yang lebih kompak dan stabil, sehingga mendukung peningkatan kadar karbon terikat serta memperpanjang waktu pembakaran. Sementara itu, lignin dengan kisaran 29,24–32,78% memiliki stabilitas termal lebih tinggi dan terdegradasi pada suhu 250–500°C, sehingga berperan penting dalam meningkatkan rendemen arang, kadar karbon terikat, dan nilai kalor briket. Secara keseluruhan, kombinasi ketiga komponen tersebut menunjukkan bahwa pelepah aren memiliki potensi yang baik sebagai biomassa untuk produksi briket arang berkualitas.

KESIMPULAN

Hasil analisis kimia menunjukkan bahwa pelepah aren memiliki komposisi lignoselulosa yang sangat potensial sebagai bahan baku briket arang. Kandungan holoselulosa sebesar 73,75% berperan penting dalam pembentukan struktur pori selama proses pirolisis melalui devolatilisasi bertahap, sehingga mendukung difusi oksigen dan kestabilan pembakaran. Kandungan α -selulosa sebesar 43,42% menunjukkan dominasi selulosa kristalin yang mampu menghasilkan struktur karbon lebih kompak dan meningkatkan karbon terikat (*fixed carbon*) serta kekuatan mekanik briket. Sementara itu, lignin sebesar 30,71% berkontribusi besar terhadap pembentukan arang, peningkatan rendemen karbon, dan nilai kalor karena sifat aromatiknnya yang lebih stabil terhadap suhu tinggi. Kombinasi holoselulosa, α -selulosa, dan lignin yang relatif tinggi menciptakan keseimbangan antara porositas internal, densitas karbon, dan stabilitas termal, sehingga pelepah aren memiliki dasar kimia dan termokimia yang kuat untuk menghasilkan briket arang dengan nilai kalor tinggi, karbon terikat baik, dan performa pembakaran yang stabil.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, pelepah aren direkomendasikan untuk dikaji lebih lanjut sebagai bahan baku briket arang melalui tahapan karbonisasi aktual dan pengujian mutu bahan bakar padat secara eksperimental. Penelitian lanjutan perlu mencakup variasi suhu dan waktu karbonisasi untuk menentukan kondisi optimum pembentukan arang, kemudian dilanjutkan dengan analisis proksimat, nilai kalor, densitas, kuat tekan, laju pembakaran, kadar emisi asap, serta karakterisasi struktur pori. Selain itu, formulasi briket dengan variasi ukuran partikel, jenis dan konsentrasi perekat, serta tekanan kempa perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kualitas fisik dan performa pembakaran. Dengan demikian, potensi pelepah aren yang pada penelitian ini baru didasarkan pada komposisi holoselulosa, α -selulosa, dan lignin dapat divalidasi secara lebih komprehensif sebelum direkomendasikan sebagai bahan bakar padat alternatif berbasis biomassa lokal.

DAFTAR PUSTAKA

- Brigdwat, A. V. (2012). Review Of Fast Pyrolysis Of Biomass And Product Upgrading. *Biomass And Bioenergy*, 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
- Chen, W., Wang, C., & Luo, Z. (2021). Pyrolysis Characteristics And Carbon Structure Evolution Of Lignocellulosic Biomass During Thermal Conversion. *Renewable And*

- Sustainable Energy Reviews*, 150, 111432. <https://doi.org/10.1016/j.sres.2021.111432>
- Figueiredo, M. B., Passos, M. L., & Silva, G. F. (2021). Thermal Degradation Behavior Of Lignin And Lignocellulosic Biomass For Biochar Production. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*, 156, 105135. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105135>
- González, J. R., Martínez, P. L., & Torres, A. M. (2024). Influence Of Lignin And Cellulose Composition On Fixed Carbon And Calorific Value Of Tropical Biomass Briquettes. *Fuel*, 357, 129847. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.129847>
- Isikgor, F. H., & Becer, C. R. (2015). Lignocellulosic Biomass: A Sustainable Platform For The Production Of Bio-Based Chemicals And Polymers. *Polymer Chemistry*, 6(25), 4497–4559. <https://doi.org/10.1039/C5PY00263J>
- Jarvis, M. C. (2023). Structure And Properties Of Cellulose Microfibrils In Plant Cell Walls. *Plants*, 12(4), 921. <https://doi.org/10.3390/Plants12040921>
- Jerzak, W., Kowalski, Z., & Nowak, A. (2024). Biochar Pore Development And Thermal Stability Derived From Lignocellulosic Biomass Pyrolysis. *Bioresource Technology Reports*, 25, 101723. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.101723>
- Kumar, A., Singh, R., & Verma, P. (2020). Effect Of Lignin Content On Calorific Value And Thermal Stability Of Biomass Fuels. *Renewable Energy*, 145, 1985–1994. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.103>
- Marinho, B. A. (2025). Hydrogen Bonding Interactions And Crystalline Organization In Cellulose Microfibrils. *Cellulose*, 32(2), 845–862. <https://doi.org/10.1007/S10570-024-05842-7>
- Martínez, P. L., González, J. R., & Ramírez, D. A. (2023). Cellulose Crystallinity And Lignin Contribution To Fixed Carbon Formation During Biomass Carbonization. *Fuel Processing Technology*, 245, 107698. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2023.107698>
- Mohan, D., Pittman, C. U., & Steele, P. H. (2021). Pyrolysis Of Wood/Biomass For Bio-Oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, 35(1), 3–37. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c03114>
- Patel, S., Kumar, R., & Singh, P. (2025). Comparative Performance Of Tropical Lignocellulosic Biomass For Charcoal Briquette Production. *Renewable Energy*, 230, 120345. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120345>
- Rinaldi, R., Jastrzebski, R., Clough, M. T., Ralph, J., Kennema, M., Bruijninx, P. C. A., & Weckhuysen, B. M. (2018). Paving The Way For Lignin Valorisation: Recent Advances In Bioengineering, Biorefining And Catalysis. *Angewandte Chemie International Edition*, 55(29), 8164–8215. <https://doi.org/10.1002/anie.201510351>
- Rowell, R. M. (2012). *Handbook Of Wood Chemistry And Wood Composites* (2nd Ed.). CRC Press.
- Salazar, J. M., Torres, D. F., & Mendoza, H. R. (2022). Mechanical Strength And Combustion Performance Of Biomass Charcoal Briquettes With Different Lignocellulosic Compositions. *Bioresources*, 17(3), 5123–5138.
- Wang, S., Dai, G., Yang, H., & Luo, Z. (2019). Lignocellulosic Biomass Pyrolysis Mechanism: A State-Of-The-Art Review. *Progress In Energy And Combustion Science*, 62, 33–86. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2017.05.004>
- Wulandari, R., & Lestari, D. (2025). Karakteristik Lignoselulosa Biomassa Tropis Dan Pengaruhnya Terhadap Mutu Biobriket Arang. *Jurnal Energi Biomassa Indonesia*, 8(1), 15–27.
- Wulandari, R., Lestari, D., & Putra, A. (2023). Pengaruh Kandungan Lignoselulosa Terhadap Kestabilan Nyala Dan Struktur Karbon Biobriket Biomassa. *Jurnal Teknologi Hasil Hutan*, 16(2), 101–112.
- Xu, F., Yu, J., Tesso, T., Dowell, F., & Wang, D. (2020). Qualitative And Quantitative Analysis Of Lignocellulosic Biomass Using Thermal Analysis Methods. *Bioresource Technology*, 101(13), 4998–5004. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.135>
- Yang, H., Yan, R., Chen, H., Lee, D. H., & Zheng, C. (2007). Characteristics Of Hemicellulose, Cellulose And Lignin Pyrolysis. *Fuel*, 86(12–13), 1781–1788. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>
- Zakzeski, J., Bruijninx, P. C. A., Jongerius, A. L., & Weckhuysen, B. M. (2010). The Catalytic Valorization Of Lignin For The Production Of Renewable Chemicals. *Chemical Reviews*,

- 110(6), 3552–3599. <https://doi.org/10.1021/Cr900354u>
- Zhang, Y. (2025). Crystalline Cellulose Organization And Thermal Resistance In Lignocellulosic Biomass. *International Journal Of Biological Macromolecules*, 276, 132458. <https://doi.org/10.1016/J.Ijbiomac.2024.132458>
- Zhao, X., Li, W., Chen, H., & Wang, S. (2022). Influence Of Lignin Structure On Char Formation And Thermal Stability During Biomass Pyrolysis. *Fuel Processing Technology*, 229, 107184. <https://doi.org/10.1016/J.Fuproc.2022.107184>