



KARAKTERISTIK TINGKAT KEKERASAN BIOMASSA DENGAN PENDEKATAN ANALISIS PROKSIMAT

Nurhalim^{a*}, Sutikno^a, Nely Ana Mufarida^a, Anis Siti Nurrohkeyati^b

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jember, Jl. Karimata No. 49 Sumbersari, Jember dan 68121, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, Jl. Ir. H. Juanda No. 15, Samarinda Ului dan 75124, Indonesia

*Corresponding author at: nurhalim@unmuhjember.ac.id (nurhalim) Tel.: +6285330267447)

INFO ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diajukan pada 17 April 2026

Direvisi pada 19 Juli 2026

Disetujui pada 23 Juli 2026

Tersedia daring pada 30 Juli 2026

Kata kunci:

Biomassa, Pirolisis, Proksimat.

Keywords:

Biomass, Pyrolysis, Proximate

ABSTRAK

Pemanfaatan biomassa sebagai sumber energi terbarukan memerlukan karakterisasi sifat fisik dan kimia untuk menentukan kesesuaiannya sebagai bahan bakar. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi hubungan tingkat kekerasan biomassa dengan karakteristik proksimat, rendemen, dan nilai kalor setelah proses pirolisis. Bahan yang digunakan meliputi daun, sabut, dan cangkang kelapa, masing-masing sebanyak 400 g. Seluruh bahan dipirolisis pada suhu 500°C selama 3 jam. Tingkat kekerasan diukur sebelum dan sesudah pirolisis menggunakan metode Shore D, sedangkan karakteristik biomassa ditentukan melalui pengujian kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, nilai kalor, dan rendemen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa cangkang kelapa memiliki tingkat kekerasan tertinggi, yaitu 61,5 HD sebelum pirolisis dan 40 HD setelah pirolisis. Cangkang kelapa juga menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 62,5 %, kadar karbon 23,98 %, dan nilai kalor 4.779 cal/g. Sebaliknya, sabut kelapa memiliki tingkat kekerasan terendah, yaitu 10 HD sebelum pirolisis dan 7 HD setelah pirolisis. Hasil tersebut menunjukkan kecenderungan bahwa biomassa dengan tingkat kekerasan lebih tinggi memiliki kadar karbon, rendemen, dan nilai kalor yang lebih tinggi. Namun, kualitas biomassa sebagai bahan bakar tidak hanya ditentukan oleh kekerasan, tetapi juga oleh kadar air, zat terbang, kadar abu, serta metode konversi yang digunakan. Cangkang kelapa menunjukkan karakteristik paling baik di antara ketiga jenis biomassa yang diuji dan berpotensi digunakan sebagai bahan baku energi padat berbasis biomassa.

ABSTRACT

The utilization of biomass as a renewable energy source requires physical and chemical characterization to determine its suitability as a fuel. This study aimed to evaluate the relationship between biomass hardness and its proximate characteristics, yield, and calorific value after pyrolysis. Coconut leaves, husks, and shells, each weighing 400 g, were used as the raw materials. All samples were pyrolyzed at 500°C for 3 h. Hardness was measured before and after pyrolysis using the Shore D method, while biomass characteristics were evaluated based on moisture content, volatile matter, ash content, fixed carbon, calorific value, and product yield. The results showed that coconut shells had the highest hardness, with values of 61.5 HD before pyrolysis and 40 HD after pyrolysis. Coconut shells also produced the highest yield of 62.5 %, a carbon content of 23.98 %, and a calorific value of 4,779 cal/g. In contrast, coconut husks exhibited the lowest hardness, with values of 10 HD before pyrolysis and 7 HD after pyrolysis. These results indicate a tendency for biomass with greater hardness to exhibit higher carbon content, yield, and calorific value. Nevertheless, biomass fuel quality is not determined solely by hardness but also by moisture content, volatile matter, ash content, and the applied conversion method. Among the three biomass materials investigated, coconut shells exhibited the most favorable characteristics and showed potential as a feedstock for solid biomass energy production.

1. PENGANTAR

Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil menjadi salah satu permasalahan global karena aktivitas pembakarannya berkontribusi terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara. Peningkatan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) terutama berkaitan dengan pembakaran bahan bakar fosil, perubahan penggunaan lahan, dan deforestasi (Saputri dkk., 2025). Selain CO₂, proses pembakaran juga dapat menghasilkan karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO_x), hidrokarbon, dan partikulat yang berdampak terhadap lingkungan serta kesehatan manusia (Edyanto dkk., 2013; Setiawan dkk., 2026). Kondisi tersebut mendorong pengembangan sumber energi yang lebih bersih dan berkelanjutan, seperti energi surya, angin, hidroelektrik, dan biomassa (Tjiwidjaja

dkk., 2023). Biomassa merupakan bahan organik yang berasal dari tumbuhan atau sumber hayati lainnya dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku energi maupun produk bernilai tambah (Herlambang dkk., 2017). Sumber biomassa dapat berupa kayu, tanaman energi, limbah pertanian, serta residu industri pengolahan hasil pertanian (Setyawan dkk., 2023). Ketersediaannya yang melimpah menjadikan biomassa berpotensi dikembangkan sebagai alternatif untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil. Secara umum, konversi biomassa menjadi energi dapat dilakukan melalui pembakaran langsung, proses termokimia, dan proses biokimia (Simanjutak dkk., 2024).

Pirolisis dan gasifikasi merupakan metode konversi termokimia yang banyak digunakan untuk mengolah biomassa. Pirolisis berlangsung dalam kondisi tanpa atau dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas dan menghasilkan produk berupa arang, bio-oil, serta gas. Sementara itu, gasifikasi diarahkan untuk menghasilkan gas sintesis atau *syngas*. Kualitas dan jumlah produk yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis biomassa, suhu, waktu proses, kadar air, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat. Oleh karena itu, analisis proksimat diperlukan untuk mengidentifikasi karakteristik dasar biomassa dan menilai kesesuaiannya sebagai bahan baku konversi energi.

Selain karakteristik kimia, sifat fisik biomassa, termasuk tingkat kekerasan, dapat memengaruhi proses penanganan, pengecilan ukuran, karbonisasi, dan pemanfaatan produk padat hasil pirolisis. Tingkat kekerasan biomassa juga diduga berkaitan dengan struktur material, densitas, rendemen arang, dan karakteristik pembakarannya. Nurhalim dkk., (2025) menunjukkan bahwa perbedaan tingkat kekerasan biomassa berkaitan dengan karakteristik bio-oil yang dihasilkan melalui proses pirolisis. Pada produk padat, kekerasan dan kerapatan juga menjadi parameter penting karena dapat memengaruhi kestabilan bentuk serta karakteristik pembakaran briket biomassa (Sondakh dkk., 2022).

Namun, pengaruh tingkat kekerasan tidak selalu sama pada setiap metode konversi dan jenis produk. Darmansyah dkk., (2021) melaporkan bahwa biomassa berkekerasan rendah dapat menghasilkan konsentrasi hidrogen yang relatif tinggi pada proses tertentu, sedangkan biomassa yang lebih keras memerlukan kondisi proses yang berbeda untuk menghasilkan *syngas*. Di sisi lain, analisis proksimat terhadap cangkang kelapa menunjukkan bahwa kandungan karbon terikat, zat terbang, kadar air, dan kadar abu berperan dalam menentukan potensinya sebagai bahan baku gasifikasi (Anam dkk., 2022). Temuan tersebut menunjukkan bahwa tingkat kekerasan tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator kualitas biomassa, tetapi perlu dievaluasi bersama karakteristik proksimat, rendemen, nilai kalor, dan metode konversi yang diterapkan.

Penelitian terdahulu umumnya membandingkan kualitas biomassa berdasarkan jenis bahan dan hasil analisis proksimat. Kajian yang secara bersamaan mengevaluasi perubahan tingkat kekerasan sebelum dan setelah pirolisis serta menghubungkannya dengan rendemen, komposisi proksimat, dan nilai kalor masih terbatas. Selain itu, perbedaan karakteristik antara bagian-bagian tanaman kelapa, seperti daun, sabut, dan cangkang, belum banyak dievaluasi menggunakan pendekatan tersebut. Padahal, setiap bagian memiliki struktur dan komposisi yang berbeda sehingga dapat menghasilkan respons yang berbeda selama proses pirolisis.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi karakteristik kekerasan daun, sabut, dan cangkang kelapa sebelum dan setelah proses pirolisis serta membandingkannya dengan rendemen, kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, dan nilai kalor. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan tingkat kekerasan sebagai salah satu parameter fisik yang dievaluasi bersama analisis proksimat dan rendemen untuk menilai karakteristik biomassa hasil pirolisis. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar awal dalam pemilihan bahan biomassa dan penentuan metode konversi yang sesuai untuk menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik yang lebih baik.

1.1 Pirolisis

Revisi kalimat menjadi Pirolisis merupakan proses dekomposisi termal biomassa pada suhu sekitar 350–550 °C dalam kondisi tanpa oksigen atau dengan suplai oksigen yang sangat terbatas. Proses ini menghasilkan tiga kelompok produk utama, yaitu produk padat berupa arang atau *biochar*, produk cair berupa *bio-oil* atau tar, serta produk gas. Perlakuan panas pada temperatur tertentu, seperti 450, 500, dan 550 °C, dapat mengubah komponen organik biomassa serta meningkatkan karakteristik energi produk padat yang dihasilkan (Qurniawan dkk., 2025).

Selama proses pirolisis, komponen penyusun biomassa mengalami penguraian melalui serangkaian reaksi heterogen yang berlangsung secara simultan. Zat-zat yang mudah menguap terlepas dalam bentuk gas, uap, dan aerosol, sedangkan sebagian komponen karbon tetap tertinggal sebagai arang (Qolbi dkk., 2025, Usman dkk., 2025). Komposisi dan karakteristik produk pirolisis dipengaruhi oleh jenis biomassa, temperatur, laju pemanasan, waktu tinggal, dan kondisi atmosfer di dalam reaktor. Produk yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar hayati, sumber energi, maupun bahan baku kimia bernilai tambah (Zulkania dkk., 2025). Secara umum, proses pirolisis dilakukan dengan memanaskan material organik di dalam reaktor tertutup untuk membatasi masuknya oksigen dan mencegah terjadinya pembakaran sempurna (Pratama dkk., 2026).

1.2 Proksimat

Revisi kalimat menjadi Analisis proksimat merupakan metode pengujian kimia yang digunakan untuk menggambarkan komposisi dasar suatu material organik secara umum. Pengujian ini dilakukan untuk mengidentifikasi beberapa parameter utama biomassa, meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang (*volatile matter*), dan karbon terikat (*fixed carbon*) (Yunisa dkk., 2023; Sufra dkk., 2026). Selain analisis proksimat, pengujian nilai kalor juga dilakukan untuk menentukan potensi energi yang dapat dihasilkan dari biomassa. Hasil pengujian tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menilai kualitas dan kesesuaian biomassa sebagai bahan bakar alternatif.

1.3 Rendemen

Rendemen merupakan persentase massa produk yang diperoleh setelah proses pirolisis atau karbonisasi dibandingkan dengan massa awal biomassa sebelum perlakuan. Nilai rendemen digunakan untuk mengevaluasi perubahan massa material akibat pemanasan pada temperatur tertentu serta menunjukkan jumlah produk padat yang masih tersisa setelah proses berlangsung (Sondakh dkk., 2022). Perhitungan rendemen mengacu pada persamaan yang digunakan dalam penelitian terdahulu dan disajikan pada Persamaan (1) (Ridhuan dkk., 2019).

$$\text{Uji Rendemen} = \frac{\text{Berat Sampel Akhir}}{\text{Berat Sampel Awal}} \times 100\% \quad (1)$$

2. METODE

2.1 Metode Penelitian

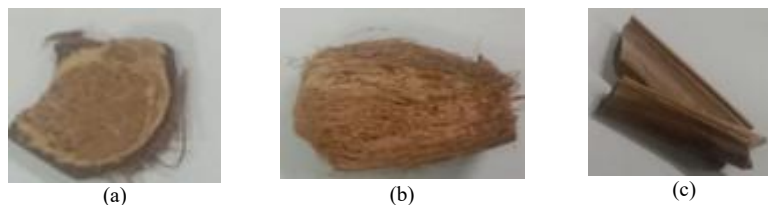
Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengevaluasi karakteristik kekerasan biomassa melalui pendekatan analisis proksimat. Pengujian dilakukan terhadap biomassa sebelum dan sesudah proses pirolisis untuk mengetahui perubahan tingkat kekerasan serta karakteristik fisik dan kimianya. Analisis proksimat digunakan untuk menilai kualitas biomassa sebagai bahan bakar berdasarkan kadar air, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat. Peralatan pirolisis yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Alat pirolisis

2.2 Bahan dan Perlakuan Material

Biomassa yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas daun, sabut, dan cangkang kelapa, masing-masing dengan massa awal 400 g. Seluruh bahan dikondisikan dalam keadaan kering sebelum proses pengujian. Setiap sampel ditimbang sebelum dan sesudah perlakuan untuk menentukan perubahan massa dan nilai rendemen. Proses pirolisis dilakukan pada suhu 500 °C selama 3 jam. Jenis biomassa yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2: Biomassa (a) Cangkang Kelapa, (b) Sabut Kelapa, dan (c) Daun Kelapa

2.3 Analisis

Karakteristik biomassa dievaluasi melalui tiga jenis pengujian, yaitu uji kekerasan, analisis proksimat, dan pengukuran rendemen. Data yang diperoleh dari ketiga pengujian tersebut kemudian diolah dan dianalisis untuk membandingkan karakteristik daun, sabut, dan cangkang kelapa sebelum serta sesudah proses pirolisis. Tahap pertama adalah pengujian kekerasan menggunakan *Shore D durometer* dengan rentang pengukuran 0–100 HD. Pengujian dilakukan pada daun, sabut, dan cangkang kelapa sebelum pirolisis, kemudian diulangi pada arang yang dihasilkan setelah proses pirolisis. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi perubahan tingkat kekerasan biomassa akibat perlakuan termal. Tahap kedua adalah analisis proksimat yang meliputi kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon terikat dengan mengacu pada ASTM D3172. Nilai kalor ditentukan berdasarkan ASTM D5865. Pengujian proksimat dan nilai kalor dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap sampel. Data yang diperoleh selanjutnya disajikan dalam bentuk nilai tertinggi dan nilai rata-rata. Tahap ketiga adalah pengukuran rendemen dengan membandingkan massa biomassa sebelum dan sesudah proses pirolisis. Nilai rendemen digunakan untuk menentukan persentase produk padat yang tersisa setelah perlakuan termal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian rendemen, kekerasan, dan analisis proksimat, daun, sabut, serta cangkang kelapa menunjukkan karakteristik yang berbeda. Perbedaan tersebut mencerminkan variasi sifat fisik dan kimia setiap jenis biomassa serta memengaruhi karakteristik arang yang dihasilkan setelah proses pirolisis. Untuk mendukung analisis lebih lanjut, sampel hasil pirolisis dari ketiga jenis biomassa ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3: Sampel hasil pirolisis (a) Arang Cangkang Kelapa, (b) Arang Sabut Kelapa, dan (c) Arang Daun Kelapa

3.1 Analisis Proksimat

Analisis proksimat digunakan untuk mengidentifikasi komposisi dasar biomassa dan mengevaluasi potensinya sebagai bahan baku energi. Parameter yang dianalisis meliputi kadar air, zat terbang, kadar abu, dan karbon terikat, yang dinyatakan dalam persentase massa. Parameter tersebut memberikan gambaran umum mengenai kelompok komponen kimia yang terkandung dalam material organik dan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran serta nilai kalor biomassa (Syukri dkk., 2020). Hasil analisis proksimat daun, sabut, dan cangkang kelapa disajikan dalam bentuk nilai tertinggi dan nilai rata-rata pada Tabel 1.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap bagian biomassa kelapa memiliki komposisi yang berbeda. Cangkang kelapa memiliki kadar air dan kadar abu paling rendah, sedangkan kadar karbon dan nilai kalornya paling tinggi dibandingkan daun dan sabut kelapa. Perbedaan komposisi tersebut memengaruhi karakteristik termal dan potensi energi masing-masing biomassa. Pada sampel yang diuji, biomassa dengan tingkat kekerasan lebih tinggi cenderung memiliki kadar karbon dan nilai kalor yang lebih tinggi. Namun, kecenderungan ini masih memerlukan analisis korelasi dan jumlah sampel yang lebih luas untuk memastikan hubungan antara kekerasan dan nilai kalor secara kuantitatif.

Tabel 1: Uji Proksimat Biomassa Kelapa

Komponen	Unit	Daun	Rata-Rata	Sabut	Rata-Rata	Cangkang	Rata-rata
Kadar Air	%	13,43	13,39	15,30	15,29	11,39	11,35
Volatil	%	64,67	64,62	60,91	60,9	63,62	63,58
Abu	%	8,95	8,91	7,49	7,46	0,99	0,91
Karbon	%	12,93	12,91	16,28	16,26	23,98	23,90
Kalori	cal/g.	3375,05	3372,97	3432,27	3429,61	4779	4770,15

Sumber: data hasil pengujian

3.2 Analisis Rendemen

Analisis rendemen menunjukkan adanya perbedaan persentase produk padat yang dihasilkan dari daun, sabut, dan cangkang kelapa setelah proses pirolisis. Rendemen digunakan untuk menunjukkan jumlah massa biomassa yang masih tersisa setelah perlakuan termal dibandingkan dengan massa awalnya. Hasil pengujian rendemen ketiga jenis biomassa tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2: Uji Rendemen Biomassa Kelapa

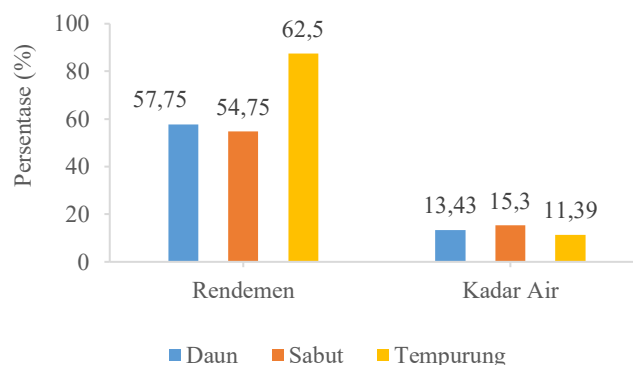
Komponen	Unit	Daun	Sabut	Cangkang
Sebelum Pirolisis	g	400	400	400
Sesudah Pirolisis	g	231	219	250
Rendemen	%	57,75	54,75	62,5

Sumber: data hasil pengujian

Berdasarkan Tabel 2, cangkang kelapa menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 62,5 %, diikuti daun kelapa sebesar 57,75 % dan sabut kelapa sebesar 54,75%. Perbedaan rendemen tersebut berkaitan dengan karakteristik masing-masing bahan, terutama kadar air dan zat terbang yang teridentifikasi melalui analisis proksimat. Selama proses pirolisis pada suhu 500 °C selama 3 jam, kandungan air dan sebagian zat terbang mengalami penguapan sehingga menyebabkan penurunan massa biomassa. Bahan dengan kadar air dan zat terbang yang lebih tinggi cenderung mengalami kehilangan massa yang lebih besar dan menghasilkan rendemen produk padat yang lebih rendah.

3.3 Pengaruh Kadar Air Terhadap Rendemen

Proses pirolisis pada suhu 500 °C selama 3 jam menunjukkan bahwa kadar air bahan baku berkaitan dengan rendemen produk padat yang dihasilkan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

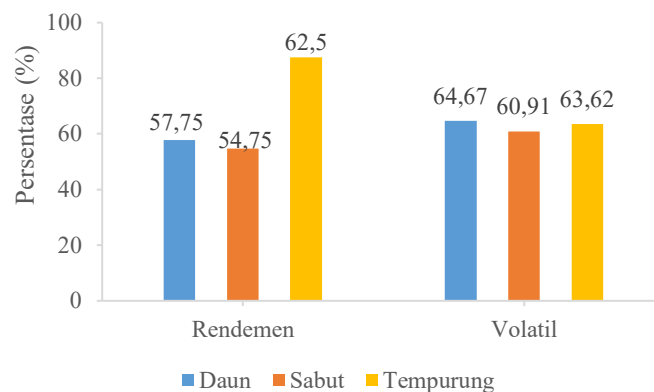


Gambar 4: Kadar air dan rendemen

Sabut kelapa memiliki kadar air tertinggi, yaitu 15,30 %, dan menghasilkan rendemen terendah sebesar 54,75 %. Sebaliknya, cangkang kelapa memiliki kadar air terendah sebesar 11,39 % dan menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 62,5 %. Selama pirolisis, air yang terkandung dalam biomassa menguap sehingga menyebabkan penurunan massa bahan dan dapat mengurangi rendemen *biochar*. Oleh karena itu, kadar air yang tinggi pada bahan baku cenderung meningkatkan kehilangan massa selama pemanasan dan memengaruhi kualitas produk padat yang dihasilkan (Amelia dkk, 2023; Renstin dkk., 2025). Meskipun demikian, rendemen tidak hanya dipengaruhi oleh kadar air, tetapi juga oleh kandungan zat terbang dan karakteristik kimia setiap jenis biomassa.

3.4 Pengaruh Kadar Volatil Terhadap Rendemen

Pembakaran dengan metode pirolisis, juga dapat menurunkan rendemen biomassa. Dalam hal ini, karena *volatile matter* merupakan zat yang mudah menguap dapat saat pemanasan. Pada Gambar 5 merupakan kadar volatil dan rendemen sebagai berikut.

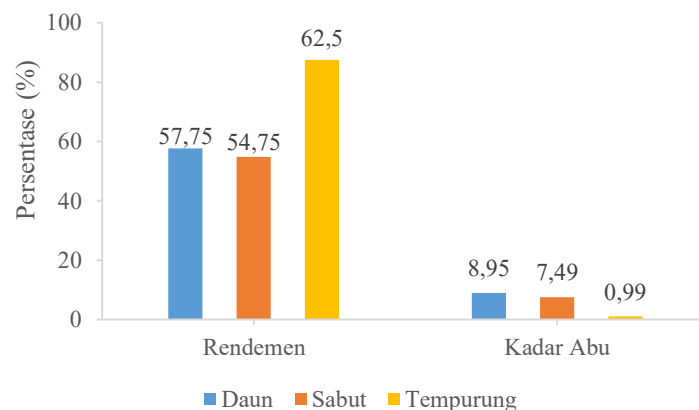


Gambar 5: Volatil dan rendemen

Proses pirolisis dapat menurunkan rendemen biomassa karena sebagian komponen, terutama zat terbang (*volatile matter*), terdekomposisi dan dilepaskan dalam bentuk gas, uap, serta senyawa cair selama pemanasan. Hubungan antara kadar zat terbang dan rendemen daun, sabut, serta cangkang kelapa ditunjukkan pada Gambar 5. Setelah dipirolisis pada suhu 500 °C selama 3 jam, daun kelapa menghasilkan rendemen sebesar 57,75%. Nilai tersebut lebih tinggi daripada rendemen sabut kelapa sebesar 54,75%, meskipun daun kelapa memiliki kadar zat terbang yang lebih tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa rendemen tidak hanya dipengaruhi oleh kadar zat terbang, tetapi juga oleh kadar air, kadar abu, komposisi lignoselulosa, dan karakteristik termal setiap bahan. Selama proses karbonisasi, komponen yang mudah menguap mengalami dekomposisi dan terlepas dari biomassa sehingga massa produk padat berkurang (Purba dkk., 2021). Suhu dan waktu pirolisis juga memengaruhi tingkat devolatilisasi. Peningkatan suhu cenderung mempercepat pelepasan zat terbang dan menurunkan jumlah *biochar* yang dihasilkan (Rosyadi dkk., 2018; Aisyah dkk., 2024). Sebaliknya, pengurangan kadar zat terbang selama pirolisis dapat meningkatkan proporsi karbon terikat dalam produk padat (Hermansyah dkk., 2023). Dengan demikian, rendemen hasil pirolisis ditentukan oleh interaksi antara kondisi proses dan komposisi awal biomassa, bukan oleh kadar zat terbang secara tunggal.

3.5 Pengaruh Kadar Abu Terhadap Rendemen

Kadar abu menunjukkan jumlah residu anorganik yang tersisa setelah komponen organik biomassa terbakar atau mengalami proses pengabuan. Hubungan antara kadar abu dan rendemen daun, sabut, serta cangkang kelapa ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6: Kadar abu dan rendemen

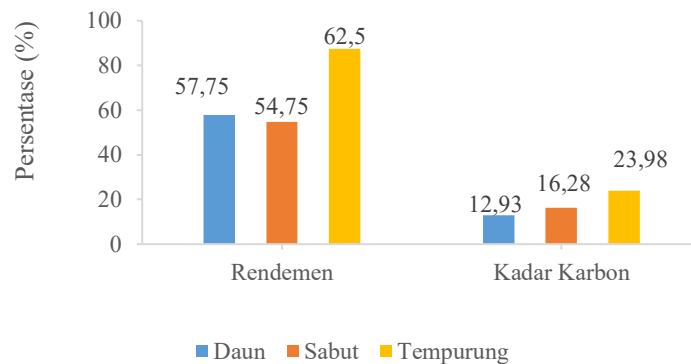
Berdasarkan hasil pengujian, daun kelapa memiliki kadar abu tertinggi sebesar 8,95 %, diikuti sabut kelapa sebesar 7,49 %, sedangkan cangkang kelapa memiliki kadar abu terendah sebesar 0,99%. Kadar abu yang tinggi dapat menurunkan kualitas biomassa sebagai bahan bakar karena komponen anorganik tidak memberikan kontribusi terhadap nilai kalor dan dapat meninggalkan residu selama pembakaran (Fadlurrahman dkk., 2024; Kautsar, 2025).

Perbedaan rendemen hasil pirolisis tidak dapat dijelaskan hanya berdasarkan kadar abu. Rendemen juga dipengaruhi oleh kadar air, zat terbang, komposisi kimia biomassa, suhu, dan waktu pirolisis. Pada penelitian ini, daun dan sabut kelapa yang memiliki kadar abu relatif lebih tinggi menghasilkan rendemen lebih rendah dibandingkan cangkang kelapa. Namun, hasil tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa kadar abu secara langsung menentukan tingkat kekerasan biomassa. Selain itu, keberadaan silika tidak dapat dipastikan hanya berdasarkan nilai kadar abu dan memerlukan pengujian komposisi mineral lebih lanjut. Penelitian Lestari dkk., (2023) menunjukkan adanya kandungan silika pada sabut kelapa, tetapi hasil analisis abu pada penelitian ini belum mengidentifikasi jenis mineral

penyusunnya secara spesifik. Oleh karena itu, kadar abu lebih tepat digunakan sebagai salah satu indikator kualitas bahan bakar biomassa, bukan sebagai ukuran langsung tingkat kekerasannya.

3.6 Pengaruh Kadar Karbon Terhadap Rendemen

Gambar 7 menunjukkan perbandingan kadar karbon terikat dan rendemen pada daun, sabut, serta cangkang kelapa. Karbon terikat merupakan salah satu parameter penting dalam menilai kualitas biomassa sebagai bahan bakar maupun bahan baku arang aktif karena berkontribusi terhadap energi panas yang dihasilkan selama pembakaran. Cangkang kelapa memiliki kadar karbon terikat tertinggi sebesar 23,98 % dan menghasilkan rendemen tertinggi sebesar 62,5 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa cangkang kelapa mampu mempertahankan fraksi padatan yang lebih besar setelah proses pirolisis dibandingkan daun dan sabut kelapa.



Gambar 7: Kadar karbon dan rendemen

Selama proses pirolisis, sebagian kadar air dan zat terbang dilepaskan dalam bentuk uap dan gas sehingga proporsi karbon terikat pada produk padat cenderung meningkat. Temuan ini sejalan dengan Gobel dkk., (2021) yang melaporkan bahwa proses karbonisasi cangkang kelapa menurunkan kadar air dan zat terbang, sedangkan fraksi karbon terikat mengalami peningkatan. Secara umum, karbon terikat cenderung meningkat ketika kandungan zat terbang dan komponen volatil lainnya menurun, meskipun nilainya juga dipengaruhi oleh kadar abu dan kondisi proses pirolisis (Pramuda dkk., 2024). Pada penelitian ini, cangkang kelapa juga menunjukkan tingkat kekerasan dan nilai kalor tertinggi. Namun, hasil tersebut belum cukup untuk menyimpulkan bahwa kadar karbon secara langsung menentukan kekerasan biomassa. Data yang diperoleh hanya menunjukkan kecenderungan bahwa biomassa dengan kadar karbon terikat lebih tinggi memiliki tingkat kekerasan, rendemen, dan nilai kalor yang lebih tinggi. Hubungan tersebut perlu dikonfirmasi melalui analisis korelasi, pengujian statistik, dan jumlah sampel yang lebih banyak.

3.7 Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga jenis biomassa, yaitu daun, sabut, dan cangkang kelapa, sebelum dan sesudah proses pirolisis. Hasil pengujian menunjukkan adanya perubahan tingkat kekerasan setelah perlakuan termal, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3: Uji Kekerasan Biomassa

Komponen	Unit	Sebelum Pirolisis	Setelah Pirolisis
Daun	HD	40	33,5
Sabut	HD	10	7
Cangkang	HD	61,5	40

Sumber: data hasil pengujian

Cangkang kelapa memiliki nilai kekerasan tertinggi dibandingkan kedua jenis biomassa lainnya. Daun kelapa menunjukkan tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada sabut kelapa, yang diduga berkaitan dengan struktur serat daun yang lebih rapat dan kaku. Sebaliknya, sabut kelapa memiliki susunan serat yang lebih lunak dan kemampuan menyerap air yang lebih tinggi sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang lebih rendah.

3.8 Pengaruh Kekerasan Biomassa Terhadap Nilai Kalori

Biomassa dengan struktur yang lebih padat dan keras cenderung memiliki kadar karbon terikat serta nilai kalor yang lebih tinggi. Pada penelitian ini, cangkang kelapa menunjukkan kadar karbon terikat tertinggi sebesar 23,98 % dan nilai kalor sebesar 4.779 cal/g. Cangkang kelapa juga memiliki nilai kekerasan tertinggi, yaitu 61,5 HD sebelum pirolisis dan 40 HD setelah pirolisis. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan hubungan antara kekerasan, kadar karbon terikat, dan nilai kalor pada biomassa yang diuji. Karbon terikat menunjukkan fraksi padatan yang dapat terbakar setelah sebagian besar zat terbang terlepas selama proses pemanasan (Muhamadin dkk., 2024). Oleh karena itu, biomassa dengan kadar karbon terikat yang lebih tinggi umumnya berpotensi menghasilkan energi panas yang lebih besar. Meskipun demikian, tingkat kekerasan tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya indikator nilai kalor karena karakteristik energi biomassa juga dipengaruhi oleh kadar air, kadar abu, zat terbang, densitas, dan komposisi kimianya. Dengan demikian, data penelitian ini lebih tepat menunjukkan kecenderungan bahwa biomassa yang lebih keras memiliki kadar karbon terikat dan nilai kalor yang lebih tinggi, tetapi hubungan tersebut masih perlu dikonfirmasi melalui analisis korelasi dan pengujian statistik.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa daun, sabut, dan cangkang kelapa memiliki karakteristik kekerasan, rendemen, komposisi proksimat, dan nilai kalor yang berbeda setelah dipirolisis pada suhu 500 °C selama 3 jam. Proses pirolisis menurunkan tingkat kekerasan seluruh sampel. Cangkang kelapa memiliki kekerasan tertinggi, yaitu 61,5 HD sebelum pirolisis dan 40 HD setelah pirolisis, diikuti daun kelapa sebesar 40 HD dan 33,5 HD, serta sabut kelapa sebesar 10 HD dan 7 HD.

Cangkang kelapa juga menghasilkan karakteristik energi terbaik di antara ketiga bahan yang diuji, dengan rendemen sebesar 62,5 %, kadar karbon terikat 23,98 %, kadar abu 0,99 %, dan nilai kalor 4.779 cal/g. Sementara itu, daun dan sabut kelapa masing-masing menghasilkan rendemen sebesar 57,75 % dan 54,75 %, dengan nilai kalor sebesar 3.375,05 dan 3.432,27 cal/g. Hasil tersebut menunjukkan adanya kecenderungan bahwa biomassa dengan struktur yang lebih keras memiliki rendemen, kadar karbon terikat, dan nilai kalor yang lebih tinggi.

Meskipun demikian, tingkat kekerasan tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya parameter dalam menentukan kualitas biomassa sebagai bahan bakar. Kualitas biomassa juga dipengaruhi oleh kadar air, zat terbang, kadar abu, karbon terikat, komposisi kimia bahan, dan kondisi proses pirolisis. Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, cangkang kelapa merupakan bahan yang paling potensial untuk dikembangkan sebagai bahan baku *biochar*, briket, atau bahan bakar padat berbasis biomassa. Pendekatan yang menggabungkan pengujian kekerasan, rendemen, analisis proksimat, dan nilai kalor dapat digunakan sebagai dasar awal dalam memilih biomassa untuk aplikasi konversi energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM, Fakultas Teknik dan Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember yang selalu memberikan dukungan kepada para dosen baik secara finansial dan moril. Dukungan dari civitas akademik, menjadi penyemangat dalam menulis dan berkarya.

KONFLIK KEPENTINGAN

Sebagai Penulis Jurnal yang Berjudul “Karakteristik Tingkat Kekerasan Biomassa Dengan Pendekatan Analisis Proksimat” menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian maupun publikasi artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah, O. A., Fadillah. A. G., & Firdaus. (2024). Pembuatan Biochar dari Limbah Buah Ketapang (*Terminalia Catappa*) dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemugry*, 24(4).
- Amelia. T., Astuti, U. P., & Setiani, V. (2023). Komposisi Biochar dan Temperatur Pembakaran Pirolisis Terhadap Kadar Air *Biochar*. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*. 09(01).
- Anam, I. S., Purwantana, B., & Radi. (2022). Karakteristik Proses Gasifikasi Cangkang Kelapa Menggunakan *Updraft Gasifier* Tipe Hisap. *Jurnal Teknologi Terapan*, 8(01).
- Darmansyah, Khalid, A., Kasim, M., & Supriyanto, T. (2021). Pengaruh Ukuran Serbuk dan Kekerasan Kayu Terhadap Kualitas Syngas Dari Pirolisis Biomassa. *Jurnal Syntax Admiration*, 2(04).
- Edyanto, H. C. B. (2013). Emisi Karbon Sebagai Dasar Implementasi Penyediaan Ruang Terbuka Hijau Di DKI Jakarta. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 14(2), 59.
- Fadlurrahman, M. D., Widiyanti, L., Rusnadi, I., Erlinawati., & Pratiwi, I. (2024). Pengaruh Variasi Massa Cangkang Kelapa dan Waktu Karbonisasi Terhadap Kualitas Arang. *Jurnal Redoks*, 09(02).
- Gobel. P. A., & Arief, A. T. (2021). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Cangkang Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat dan Nilai Kalor. *Jurnal Meneral, Energi dan Lingkungan (JMEL)*, 05(01), 48-54.
- Herlambang, S., Rina, S., Purwono, A.Z. Sutiono. T. H. (2017). Biomassa Sebagai Sumber Energi Masa Depan. *Gerban Media Aksara*.
- Hermansyah., Dari, P. W., Wahyuni S., Rahmawati, S. D., Wati, N. M. T., & Putri, A. K. (2023). Karakterisrik Arang dari Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Dasar Utama Pembuatan Biobriket. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*. 01(02).
- Kautsar. M. (2025). Pembuatan Bahan Bakar Padat Biomassa dari Limbah Sampah Organik dengan Teknologi Biodrying. *Jurnal Ristera*, 3(2).
- Lestari, Y. D., Rahayuningtyas, M. T., Utami, L. I., Wahyusi, K. N. (2023). Sintesis Silika Xerogel Dari Sabut Kelapa Dengan Metode Sol-GeL. *Jurnal Teknik Kimia*, 17(02)
- Muhamadin, R. C., Ningtyas, A. H. P., Pahlawan, I. A., Hidayatullah, R. A., Hidayat., & Mariansyah, P. N. (2024). Pengolahan Limbah Sampah Organik dan Non-Organik Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *JUSTI: Jurnal Sistem Dan Teknik Industri*, 4(03).
- Nurhalim., Abidin, A., Ridho, M. Z., Mufarida, N. A., Rizal, N. S., & Katsiro, P. (2025). Pengaruh Tingkat Kekerasan Biomassa Terhadap Kualitas *Bio-Oil* (TAR). *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, 14(01).
- Pramuda. K. C. M., (2024). Uji Karakteristik Briket dengan Campuran Serbuk Rang Kelapa dan Pelepeh Pisang Menggunakan Perekat Molase. *JTM*, 12(02), 135-142.
- Pratama, A. B., & Juwita, E. (2026). Karakteristik *Biooil* dari Enceng Gondok Sebagai Bahan Bakar Cair Melalui Proses Pirolisis. *Sinerigi Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 07(01), 46-53.

- Purba, Br. S. P. K., & Sirajuddin. (2021). Pengaruh Waktu dan Kecepatan Udara Pada Proses Oksidasi Parsial Dalam Pembuatan Biobriket dari Cangkang Kelapa Sawit. *Jurnal Chemugry*, 05(21), 61-71
- Qolbi, R. N., Safiq, D., Sudarti., & Mahmudi, K. (2025). Analisis Konsep Fisika Pada Teknologi Pirolisis Untuk Pengelahan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(10.D), 124-130.
- Qurniawan, N. W., Saleh, A. R., & Dewi, R. P. (2025). Pengaruh Variasi Temperatur Proses Pirolisis Terhadap Karakteristik Biopellet Berbahan Baku Arang Limbah Ampas Tebu dan Kopi. *Venus: Jurnal Publikasi Rumpun Ilmu Teknik*, 3(06), 217-234.
- Renstin., Ifa, L., & Yani, S. (2025). Pengaruh Terhadap Jenis Perekat Terhadap Kualitas Biobriket Hasil Pirolisis Limbah Biomassa Lignoselusa D07. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*. 8(1), 1119-11311.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Pahlawan, I. A., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Jurnal Turbo*, 8(01).
- Rosyadi, I., Wahyudi, H., Yuswardi., & Febriando. (2018). Analisis Hasil *Pyrolysis* Pada Limbah Biomassa Tongkol Jagung dengan Kayu Akasia. *Seminara Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri*.
- Saputri, A., & Suseno, D. J. (2025). Faktor Yang Berpengaruh Terhadap Emisi Karbon Dalam Rangka Pembangunan Berkelanjutan: Analisis Empiris Di Indonesia. *Jurnal kajian Ekonomi dan Bisnis (EL-Mal)*, 07(01), 81–89.
- Setiawan, T., Ahalik., Hakki, T. W., & Novant, Y. (2026). Faktor Yang Mempengaruhi Pengungkapan Emisi Karbon Di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Manajemen Sistem Informasi (JEMSI)*, 07(01), 81–89
- Setyawan, Y, H., Dewi. R. J., Ulandari. D., Pratiwi, A. D., Pratama, A. P. A. (2023). Energi Biomassa. UB Press.
- Simanjutak. P. Janter., Silaban. R., Putra. N. A. (2024). Teknologi Pirolisis Biomassa Energi Tebarukan. Echa Progress: Lembaga Pengembangan Profesionalisme SDM.
- Sondakh, R. C., Hayatudin., & Ernawati. (2022). Perbandingan Biomassa Pertanian Sebagai Energi Terbarukan Briket Arang. *Jurnal Ilmiah GIGA*, 25(01), 45-52.
- Sufra, R., Susanto, H., Rizkiana, J., Suharto., & Satria, A. W. S. (2026). Termogravimetri Analisis Ultimat dan Proksimat Biomassa Serta Penentuan Nilai Kalor. *Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 14(01).
- Syukri. D., Yentrina. R., Azima. F. (2020). Serba Serbi Praktis Analisa Proksimat Bahan Pangan Bagi Mahasiswa. Indomedia Pustaka.
- Tjiwidjaja, H., & Salima, R. (2023). Dampak Energi fosil Terhadap Perubahan Iklim dan Solusi Berbasis Energi Hijau. *Jurnal Wilayah, Kota Dan Lingkungan Berkelanjutan*, 02(02), 166-172.
- Usman, N. W., Suryanto., Sudarti., & Kalla, R. (2025). Pengaruh Variasi Waktu dan Temperatur Pirolisis Terhadap Kualitas Bio-oil Dari Limbah Biomassa Plant Filter Aid (Lignoselulosa D07). *JUTIN: Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(01), 1484-1493.
- Yunisa., Suhaera., & Sari, S. (2023). Analisa Proksimat Bronok. *The Journal General Health and Pharmaceutical Sciences Research*, 1(02), 31-40.
- Zulkania, A., Novitasari, M., Muhlashon, D., Zuhri, T. A., Syahputri, M. E., & Febriani, A. R. (2025). Studi Kelakuan Termal Dan Parameter Kinetik Pirolisis Biomassa dengan Katalis Red Mud. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(01).