

Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Terhadap Komposisi Uji

Proksimat Dari Serbuk Kayu Jati

Abdul Rohman¹, Nely Ana Mufarida^{1,*} dan Kosjoko¹

¹Universitas Muhammadiyah Jember ; abdulrohman12345670@gmail.com

¹Universitas Muhammadiyah Jember ; nelyana@unmuhjember.ac.id

¹Universitas Muhammadiyah Jember ; kosjoko@unmuhjember.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.xxxxx/xxxxx>

*Correspondensi: Nely Ana Mufarida

Email: nelyana@unmuhjember.ac.id

Published: Januari, 2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur pirolisis (450, 550°C) terhadap komposisi uji proksimat dan nilai kalor dari serbuk kayu jati. Metode pirolisis digunakan untuk mendekomposisi bahan organik dalam kayu menjadi gas, cairan, dan arang pada suhu tinggi. Hasil analisis proksimat mencakup kadar air, kadar abu, kadar volatile, dan kadar karbon terikat, sementara nilai kalor diukur untuk menentukan potensi energi serbuk kayu. Hasil penelitian menunjukkan perubahan signifikan dalam komposisi uji proksimat pada berbagai suhu pirolisis. Selain itu, nilai kalor meningkat seiring peningkatan suhu, menunjukkan peningkatan potensi energi serbuk kayu jati. Hasil ini memberikan wawasan penting untuk optimalisasi kondisi pirolisis guna meningkatkan nilai ekonomis dan keberlanjutan pemanfaatan kayu jati sebagai sumber energi biomassa

Keywords: pirolisis; variasi suhu; kayu jati; uji proksimat; nilai kalor

PENDAHULUAN

Indonesia saat ini sedang mengalami masalah krisis energi. Ketersediaan sumber energi sampai saat ini masih sangat terbatas, baik skala kecil dan besar. Hal ini dikarenakan pemanfaatan limbah pertanian atau kehutanan masih sangat minim, disebabkan masih diandalkannya sumber energi dari fosil, yaitu minyak bumi yang sifatnya non renewable atau tidak dapat diperbaharui (Nini Astarini, 2022). Energi biomassa menjadi salah satu sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil (minyak bumi), karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu, dapat dimanfaatkan secara lestari karena sifatnya yang dapat diperbaharui (*renewable resources*), relatif tidak mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian (Ridhuan dkk, 2019). Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi kayu yang sangat besar, sehingga limbah yang dihasilkan industri kayu juga besar, Berdasarkan hasil pengumpulan Data Kehutanan Triwulanan Tahun 2023, jumlah produksi kayu bulat di Indonesia adalah sebesar 64,65 juta m³ (Badan Pusat Statistik, 2023). Diantaranya limbah kayu yang masih kurang dimanfaatkan yaitu 2 limbah serbuk kayu jati. Banyak penelitian terdahulu yang memanfaatkan serbuk kayu jati sebagai bahan bakar alternatif, bahan baku pembuatan brake pads, asap cair, media tumbuh jamur tiram, maupun bahan baku pembuatan briket (Arif dkk, 2019). Pirolisis biomassa adalah dekomposisi termal biomassa tanpa kehadiran oksigen (Situmorang, 2022). Pirolisis lebih menjanjikan dibandingkan konversi termokimia yang lain karena lebih fleksibel di dalam pemilihan bahan baku (tidak perlu memperhatikan tipe, bentuk dan sifat fisik dan kimia bahan baku), dapat dioperasikan pada kisaran suhu yang luas dan pada tekanan atmosfer (Ahmad dkk, 2022), dan

menghasilkan tiga jenis produk padat, cair, dan gas (H₂, CO, CO₂, H₂O dan CH₄) (Novita dkk, 2021). Berdasarkan hasil penelitian dari Andi Asmunandar dkk, Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) yang diproses pada temperatur pirolisis diatas 600°C memiliki potensi yang baik untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil (alternatif) karena telah memenuhi baku mutu SNI 01-6235-2000. Temperatur dan waktu pirolisis memiliki dampak yang signifikan terhadap peningkatan nilai kalor dan perbaikan nilai proximate analysis arang yang dihasilkan. Nilai kalor yang diperoleh memperlihatkan hasil yang berbanding lurus dengan kandungan karbon tetap, dengan semakin tingginya kandungan karbon tetap maka nilai kalor semakin tinggi dan juga sebaliknya (Asmunandar dkk, 2023). Berdasarkan hasil penelitian dari M. Nur Alam dkk yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa suhu pirolisis berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif dimana terjadi peningkatan kadar fixed carbon. Suhu pirolisis terbaik pada 3 pembuatan karbon aktif berdasarkan nilai kadar Fixed Carbon adalah suhu 700°C dengan kadar fixed carbon sebesar 80.51 % dan telah memenuhi syarat kualitas karbon aktif berdasarkan SNI.6-3730-1995 (Nur Alam dkk, 2022). Suhu pirolisis Jerami padi pada reaktor batch mempengaruhi produk pirolisis (char, bio-oil, dan gas) yang dihasilkan (Wulandari dkk, 2023). Berdasarkan analisis yang telah dilakukan oleh (Alieftiyani Paramita Gobel dkk, 2022) , maka dapat disimpulkan bahwa tempurung kelapa belum memenuhi persyaratan teknis sebagai bahan bakar padat dikarenakan parameter penentu kualitas seperti kandungan air, kandungan zat terbang masih tinggi, sehingga mempengaruhi rendahnya kandungan karbon dan nilai kalor.

Beberapa Peneliti fokus pada produk pirolisis (char, Bio-oil, dan gas), fixed carbon, dan nilai kalor. Ada penelitian yang fokusnya hanya sebatas berkaitan dengan suhu dan waktu pirolisis dari bahan dari tempurung kelapa, jerami padi, dan bambu petung (Mudaim dkk, 2021) tanpa menguji nilai proksimat dan nilai kalor. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk memvariasi temperatur pirolisis dari bahan dari serbuk kayu jati untuk menguji nilai proksimat (Puspita dkk, 2021) dan nilai kalor . Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui dampak variasi temperatur pirolisis terhadap perubahan komposisi uji proksimat, serta nilai kalor dari serbuk kayu jati. Dengan menyatukan dari informasi ini, diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan strategi penggunaan biomassa sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selain itu, temuan penelitian ini dapat menjadi dasar bagi perkembangan teknologi pirolisis yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam konteks pemanfaatan biomassa untuk memenuhi kebutuhan energi global.

METODE

Metode penelitian ini termasuk metode penelitian eksperimen yang bermaksud untuk mengetahui pengaruh variabel independen (*treatment* /perlakuan) terhadap variabel dependen (hasil) dalam kondisi yang terkendalikan. Kondisi dikendalikan agar tidak ada variabel lain (selain variabel *treatment*) yang memengaruhi variabel dependen (hasil). Agar kondisi dapat dikendalikan maka dalam penelitian eksperimen menggunakan kelompok kontrol dan seiring penelitian eksperimen dilakukan di dalam laboratorium.

Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Jember untuk proses pirolisis bahan baku, untuk uji proksimat dan uji nilai kalor dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian yaitu:

1. Serbuk kayu jati

Alat alat yang diperlukan dalam penelitian yaitu:

1. Alat pirolisis
2. Alat uji proksimat
3. Cawan
4. Timbangan
5. Alumunium foil
6. Gunting
7. Penjapit cawan
8. Sendok
9. Ayakan 50 mesh

Variabel Penelitian

Dalam sebuah penelitian terdapat beberapa jenis variabel yang tersusun atas berbagai komponen seperti faktor, atribut, dan perlakuan yang akan diambil berdasarkan kajian penelitian.

1. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Pengujian ini menggunakan variasi temperatur pirolisis dan bahan baku dari serbuk kayu jati.

2. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dibuat didalam suatu penelitian. Berat bahan baku serbuk kayu jati yang digunakan sebesar 500 gram. Pengujian ini menggunakan variasi temperatur sebagai berikut :

1. 450° C
2. 550° C

3. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya tidak dapat di tentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung variabel terikatnya. Penelitian ini memiliki variabel bebas yang meliputi data yang diperoleh pada pengujian proksimat dan nilai kalor.

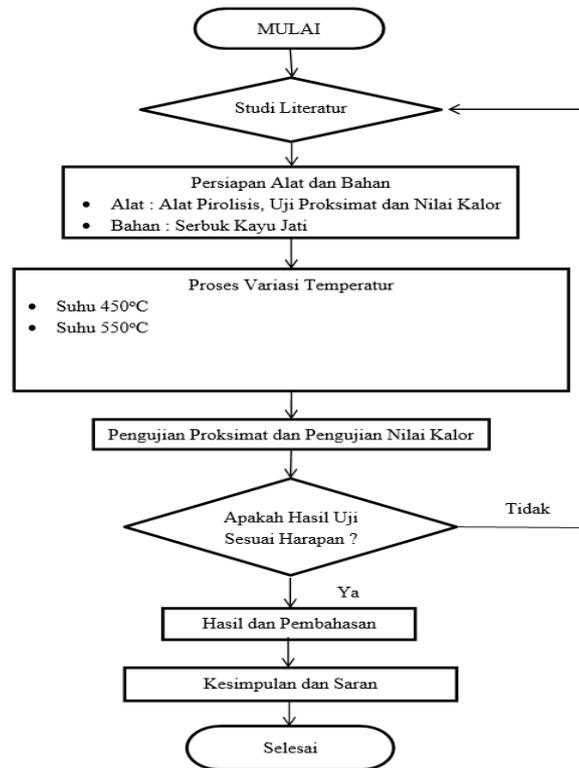
Parameter uji sebagai acuan adalah standar SNI No.1/6235/2000 dimana detailnya dicantumkan dalam gambar 1.

No.	Parameter	Standar SNI
1.	Kadar Air (%)	≤ 8
2.	Kadar Abu (%)	≤ 8
3.	Kadar Karbon (%)	≥ 77
4.	Nilai Kalor (kal/g)	≥ 5000
5.	Kadar Zat Menguap (%)	≤ 15

Gambar 1. Standar SNI No.1/6235/2000.

Diagram Alir

Adapun diagram alir penelitian yang dilakukan peneliti seperti di tunjukan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil nilai uji proksimat sebelum di pirolisis dan sesudah di pirolisis dengan suhu 450°C dan 550°C dapat dilihat pada tabel 1, tabel 2, dan tabel 3.

Tabel 1. Hasil nilai uji proksimat serbuk kayu jati sebelum dipirolisis.

No.	Bahan	Pengujian	Sebelum di pirolisis			Hasil rata-rata uji
			1	2	3	
1	Serbuk Kayu jati	Kadar air (%)	8,6957	8,8583	8,7475	8,7672
2		Kadar abu (%)	4,3478	3,9370	4,1750	4,1533
3		Kadar zat menguap (%)	67,1937	67,1260	67,1968	67,1722
4		Kadar karbon terikat (%)	19,7628	20,0787	19,8807	19,9074
5		Nilai kalor (Kal/gr)	4363,5309	4343,1425	4406,6995	4371,1243

Berdasarkan pada tabel 1 diketahui bahwa hasil uji proksimat serbuk kayu jati sebelum dipirolisis mendapatkan nilai kadar air sebesar 8,77%, nilai kadar abu sebesar 4,15%, nilai kadar zat menguap 67,17%, nilai kadar karbon terikat sebesar 19,91% dan nilai kalor sebesar 4371,12 kal/gr.

Tabel 2. Hasil nilai uji proksimat serbuk kayu jati sesudah di pirolisis dengan suhu 450°C.

No.	Bahan	Pengujian	Sesudah di pirolisis (450°C)			Hasil rata-rata uji
			1	2	3	
1	Serbuk Kayu jati	Kadar air (%)	2,7667	2,7613	2,5742	2,7007
2		Kadar abu (%)	7,7075	8,0867	8,5148	8,103
3		Kadar zat menguap (%)	26,8774	29,1913	27,5247	27,8644
4		Kadar karbon terikat (%)	65,4151	62,722	63,9605	64,0325
5		Nilai kalor (Kal/gr)	6917,2530	6875,7743	6890,8921	6894,6398

Berdasarkan pada tabel 2 diketahui bahwa hasil uji proksimat serbuk kayu jati ssesudah dipirolisis pada suhu 450°C mendapatkan nilai kadar air sebesar 2,7%, nilai kadar abu sebesar 8,1%, nilai kadar zat menguap 27,86%, nilai kadar karbon terikat sebesar 64,03% dan nilai kalor sebesar 6894,64 kal/gr.

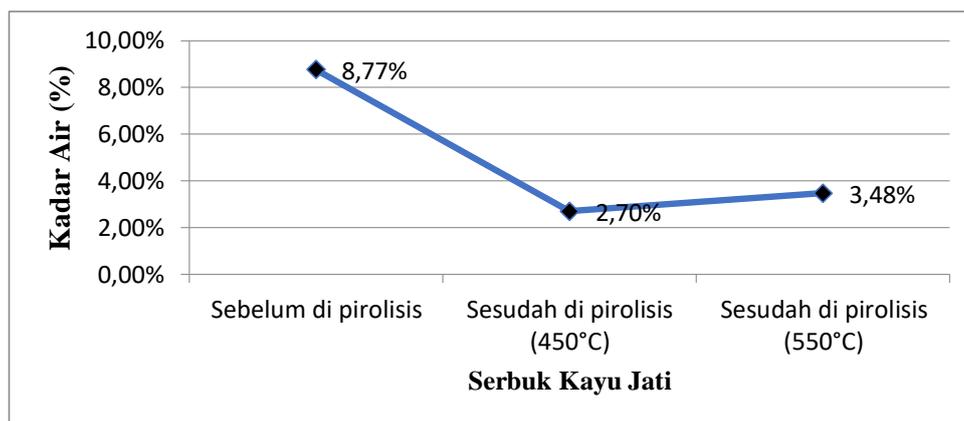
Tabel 3. Hasil nilai uji proksimat serbuk kayu jati sesudah di prolisis dengan suhu 550°C.

No.	Bahan	Pengujian	Sesudah di pirolisis (550°C)			Hasil rata-rata uji
			1	2	3	
1	Serbuk Kayu jati	Kadar air (%)	3,3730	3,5156	3,5363	3,4750
2		Kadar abu (%)	10,1190	9,9609	10,2161	10,0987
3		Kadar zat menguap (%)	12,3016	12,3047	12,1807	12,2623
4		Kadar karbon terikat (%)	74,2063	74,2188	74,0668	74,1640
5		Nilai kalor (Kal/gr)	7218,9270	7170,5653	7189,6721	7193,0548

Berdasarkan pada tabel 3 diketahui bahwa hasil uji proksimat serbuk kayu jati sebelum dipirolisis mendapatkan nilai kadar air sebesar 3,47%, nilai kadar abu sebesar 10,1%, nilai kadar zat menguap 12,26%, nilai kadar karbon terikat sebesar 74,16% dan nilai kalor sebesar 7193,05 kal/gr.

Uji kadar air

Pada penelitian ini, kadar air yang diuji adalah sampel material pada setiap tahapan proses. Pengujian kadar air dilakukan pada setiap tahapan proses karena kadar air merupakan salah satu parameter penentuan kualitas arang yang berpengaruh terhadap nilai kalor pembakaran, kemudahan menyala, daya pembakaran dan jumlah asap yang dihasilkan selama pembakaran. Tingginya kadar air arang dapat menurunkan nilai kalor pembakaran, menyebabkan proses penyalaan menjadi lebih sulit dan menghasilkan banyak asap . Kadar air yang harus dicapai pada arang yang telah diproduksi berdasarkan standar SNI No.1/6235/2000 yaitu $\leq 8\%$. Hasil pengujian kadar air dapat ditunjukkan pada gambar 3.

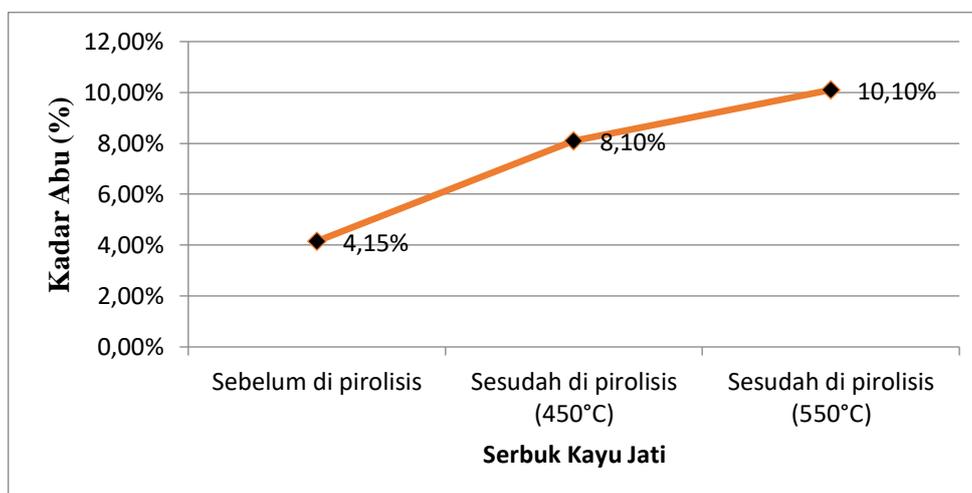


Gambar 3. Hasil nilai uji kadar air.

Pada gambar 3 menunjukkan nilai kadar air sebelum dipirolisis mengalami kenaikan yang cukup tinggi sebesar 8,77% sehingga masih belum memenuhi standar SNI No.1/6235/2000, berbeda dengan nilai kadar air sesudah dipirolisis pada suhu 450°C mengalami penurunan yang cukup drastis yaitu sebesar 2,7%, namun pada suhu 550°C mengalami kenaikan pada nilai kadar air sebesar 3,48% diakibatkan penempatan yang kurang baik karena arang bersifat adiktif yaitu mampu menyerap zat apapun yang ada disekitar seperti udara yang terkandung air. Pada suhu 450°C dan 550°C telah memenuhi standar SNI No.1/6235/2000 dengan kadar air $\leq 8\%$. Semakin sedikit kadar air maka semakin baik arang yang dihasilkan.

Uji Kadar Abu

Kadar abu menyebabkan turunnya mutu briket karena dapat menurunkan nilai kalor. Kadar abu merupakan bahan sisa proses pembakaran yang tidak memiliki unsur karbon atau nilai kalor. Komponen utama abu dalam biomassa berupa kalsium, potasium, magnesium, dan silika yang berpengaruh terhadap nilai kalor pembakaran. Kadar abu merupakan salah satu parameter yang penting karena bahan bakar tanpa abu (seperti minyak dan gas) memiliki sifat pembakaran yang lebih baik. Nilai kadar abu yang harus dicapai pada arang yang telah diproduksi berdasarkan standar SNI No.1/6235/2000 yaitu $\leq 8\%$. Semakin kecil kadar abu, mutu pada arang akan semakin baik. Hasil pengujian kadar abu dijelaskan pada gambar 4.

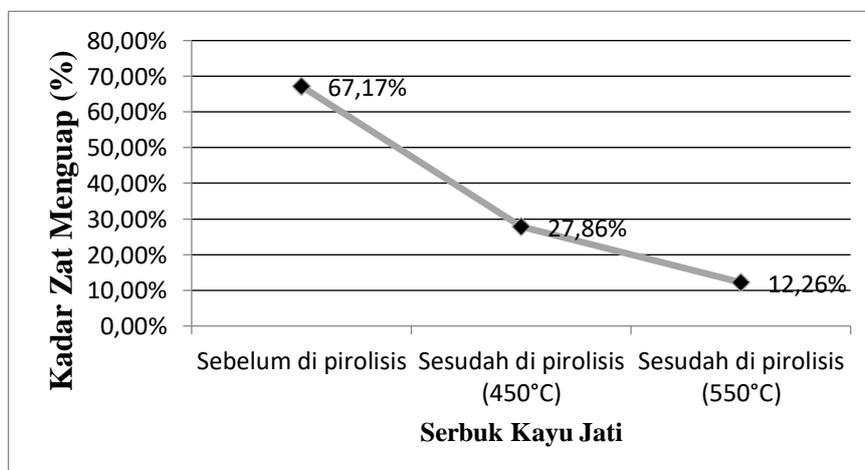


Gambar 4. Hasil nilai uji kadar abu.

Pada gambar 3 menunjukkan nilai uji kadar abu sebelum dipirolisis mendapatkan nilai terendah karena masih belum adanya proses apapun. Pada nilai kadar abu sesudah dipirolisis pada suhu 450°C dan 550°C mengalami kenaikan yang cukup tinggi sehingga masih belum memenuhi standar SNI No.1/6235/2000 yaitu $\leq 8\%$.

Uji kadar zat Menguap

Kadar zat terbang dapat dijadikan sebagai parameter untuk mengukur banyaknya asap yang dihasilkan pada saat pembakaran. Semakin tinggi jumlah kadar zat terbang dari suatu bahan bakar maka jumlah asap yang dihasilkan semakin tinggi. Kadar zat terbang yang tinggi dipengaruhi oleh komponen kimia seperti zat yang mudah menguap pada saat pembakaran suhu tinggi. Selain itu, kadar zat terbang briket yang tinggi disebabkan karena tidak adanya proses karbonisasi. Karbonisasi mampu mengurangi kadar zat terbang karena tidak terdapat oksigen dalam proses karbonisasi yang dapat menyebabkan hilangnya komponen zat terbang dari bahan dan karbon tetap tertinggal dalam bahan. Semakin kecil kadar zat menguap, mutu briket akan semakin baik. Hasil pengujian kadar zat menguap dapat dilihat pada gambar 5.

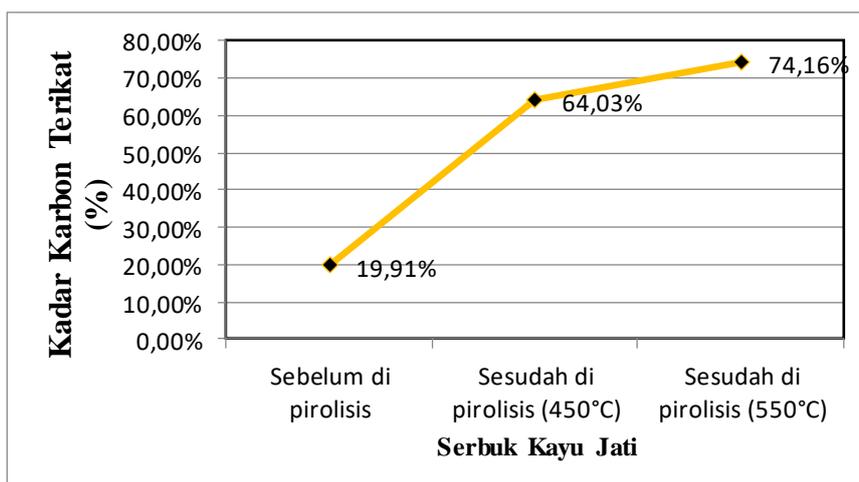


Gambar 5. Hasil nilai uji kadar zat menguap

Pada gambar 5 menunjukkan nilai uji kadar zat menguap sebelum dipirolisis dan sesudah dipirolisis pada suhu 450°C masih belum memenuhi standar SNI, sedangkan pada suhu 550°C telah memenuhi standar SNI yaitu $\leq 15\%$.

Uji kadar karbon terikat

Karbon terikat merupakan komponen fraksi karbon (C) yang terdapat di dalam bahan selain air, abu, dan zat terbang, sehingga keberadaan karbon terikat pada briket dipengaruhi oleh nilai kadar abu dan kadar zat terbang pada briket tersebut. Pengukuran karbon terikat menunjukkan jumlah material padat yang dapat terbakar setelah komponen zat terbang dihilangkan dari bahan tersebut. Kadar karbon sebagai parameter kualitas bahan bakar karena mempengaruhi besarnya nilai kalor. Kandungan kadar karbon terikat yang semakin tinggi akan menghasilkan nilai kalor semakin tinggi, sehingga kualitas bahan bakar akan semakin baik. Untuk hasil pengujian kadar karbon terikat tertera pada gambar 6.

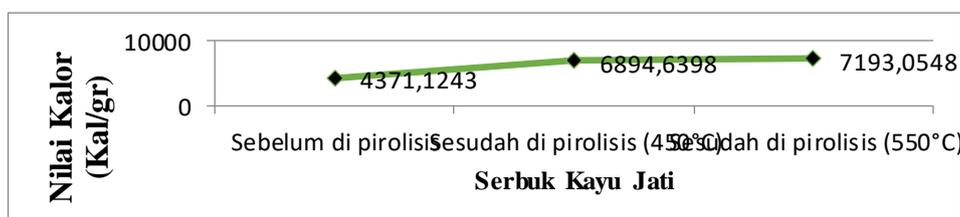


Gambar 6. Hasil nilai uji kadar karbon terikat.

Pada gambar 6 menunjukkan nilai kadar karbon terikat sebelum dipirolisis dan sesudah dipirolisis pada suhu 450°C dan 550°C masih belum memenuhi standar SNI No.1/6235.2000 yaitu $\geq 77\%$.

Uji nilai kalor

Nilai kalor adalah jumlah suatu panas yang dihasilkan persatu berat dari proses pembakaran cukup dari satu bahan yang mudah cukup terbakar. Kalorimeter adalah alat yang digunakan untuk mengukur jumlah kalor yang terlibat dalam suatu perubahan atau reaksi kimia (Arifin, 2016).. Parameter utama dalam menentukan kualitas bahan bakar arang adalah nilai kalor. Nilai kalor didefinisikan sebagai panas yang dilepaskan dari pembakaran sejumlah kuantitas unit bahan bakar (massa) dimana produknya dalam bentuk ash, gas CO₂, SO₂, Nitrogen dan air, tetapi tidak termasuk air yang menjadi uap (vapor). Kalor yang semakin tinggi menunjukkan kualitas bahan bakar yang semakin baik. Nilai kalor berkorelasi positif dengan kadar karbon terikat di dalam arang. Hasil uji menunjukkan nilai kalor telah memenuhi standar SNI. Semakin besar nilai kalor, mutu briket akan semakin baik. Hasil pengujian nilai kalor dapat di lihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil uji nilai kalor.

Hasil uji nilai kalor pada gambar 7 menunjukkan serbuk sebelum dipirolisis belum memenuhi standar SNI, sedangkan pada serbuk yang sudah dipirolisis di suhu 450°C dan 550°C telah memenuhi standar SNI No.1/6235/2000 yaitu ≥ 5000 kal/gr.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur pirolisis memiliki pengaruh yang signifikan terhadap komposisi uji proksimat dan nilai kalor dari serbuk kayu jati. Berdasarkan analisis proksimat, terlihat bahwa kadar air, abu, volatile matter, dan karbon dalam serbuk kayu mengalami perubahan yang dapat diatributkan pada suhu pirolisis yang berbeda. Ketika suhu pirolisis ditingkatkan, terjadi penurunan kadar air dan volatile matter, sementara abu dan karbon mengalami peningkatan. Pada suhu 550°C kadar air mengalami kenaikan dikarenakan arang itu bersifat adiktif yaitu dapat menyerap udara yang ada disekitar. Udara diubah menjadi air sehingga kadar air menjadi semakin tinggi jika ditempatkan diruang terbuka. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu pirolisis mempengaruhi proses dekomposisi komponen organik dalam kayu jati, sehingga menghasilkan serbuk dengan komposisi yang berbeda. Lebih lanjut, nilai kalor dari serbuk kayu jati menunjukkan tren peningkatan seiring dengan kenaikan suhu pirolisis, menandakan bahwa suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan potensi energi dari biomassa tersebut.

Hasil penelitian ini memberikan wawasan penting dalam pemahaman terhadap pengaruh suhu pirolisis terhadap sifat-sifat termal dan komposisi bahan baku biomassa. Informasi ini dapat digunakan sebagai landasan untuk mengoptimalkan proses pirolisis guna mendapatkan bahan bakar bio dengan karakteristik yang diinginkan. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki relevansi dalam pengembangan teknologi konversi biomassa menjadi energi yang efisien dan berkelanjutan. Secara keseluruhan, pemahaman mendalam terhadap dampak variasi temperatur pirolisis pada serbuk kayu jati tidak hanya berkontribusi pada pengembangan bahan bakar bio yang efisien, tetapi juga memperluas wawasan kita terhadap pemanfaatan biomassa sebagai solusi energi yang ramah lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam mendukung upaya global untuk mencapai keberlanjutan energi melalui pemanfaatan sumber daya terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, J., Ringroad, Y., Tamanan, S., Bantul, B., & Telp, Y. (2022). *PENGARUH SUHU TERHADAP YIELD VALUABLE CHEMICALS PADA FASE ORGANIK HASIL PIROLISIS CANGKANG KELAPA SAWIT Jendral*.
- Arif, S., Irawan, D., & Jainudin, M. (2019). Analisis Sifat Mekanis Perbandingan Campuran Komposit Serbuk Gergaji Kayu Jati Dengan Matrik Epoxy Untuk Material Kampas Rem Cakram. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 7(2), 58–63. <https://doi.org/10.30869/jtech.v7i2.385>
- Arifin. (2016). *Reaksi Perpindahan Panas Solar*. 2012, 9–26.
- Asmunandar, A., Goembira, F., Raharjo, S., & Yuliarningsih, R. (2023). Evaluasi Pengaruh Suhu dan Waktu Pirolisis Biochar Bambu Betung (*Dendrocalamus asper*). *Jurnal Serambi Engineering*, 8(1), 4760–4771.
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik Produksi Kehutanan Statistics Of Forestry Production 2022*.
- Gobel, A. P., & Arief, A. T. (2022). Pengaruh Karbonisasi Terhadap Karakteristik Tempurung Kelapa Berdasarkan Uji Proksimat Dan Nilai Kalor. *Jurnal Mineral, Energi, Dan Lingkungan*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.31315/jmel.v5i1.5370>
- Mudaim, S., & Hidayat, S. (2021). Analisis Proksimat Karbon Kulit Kemiri (*Aleurites Moluccana*) Dengan Variasi Suhu Karbonisasi. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 05(02), 157–163.

-
- Nini Astarini. (2022). PENGARUH DAYA MICROWAVE PADA METODE PIROLISIS TERHADAP PRODUKSI DAN KARAKTERISASI BIOCHAR AMPAS SAGU. , *γ787* 8.5.2017, 2003–2005.
- Novita, S. A., Fudholi, A., & Doktoral. (2021). Parameter Operasional Pirolisis Biomassa. *Agroteknika*, 4 (1)(1), 53–67.
- Nur Alam, M., Megarezky Makassar, U., & Antang Raya Kec Manggala Kota Makassar, J. (2022). Pengaruh Suhu Pirolisis Terhadap Kadar Fixed Carbon Dari Karbon Aktif Kulit Batang Sagu. *Cokroaminoto Journal of Chemical Science*, 4(2), 19–22. <https://science.e-journal.my.id/cjcs/article/view/132>
- Puspita, V., Syakur, S., & Darusman, D. (2021). Karakteristik Biochar Sekam Padi Pada Dua Temperatur Pirolisis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(4), 732–739. <https://doi.org/10.17969/jimfp.v6i4.18404>
- Ridhuan, K., Irawan, D., & Inthifawzi, R. (2019). Proses Pembakaran Pirolisis dengan Jenis Biomassa dan Karakteristik Asap Cair yang Dihasilkan. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 8(1), 69–78. <https://doi.org/10.24127/trb.v8i1.924>
- Situmorang, R. (2022). Prosedur Perakitan Alat Pirolisis Sampah Plastik Dengan Reaktor Ganda. In *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik [JIMT]* (Vol. 2).
- Wulandari, Y. R., & , Fadian Farisan Silmi, Dewi Ermaya, Nita Pita Sari, D. T. (2023). PENGARUH SUHU PIROLISIS JERAMI PADI TERHADAP VARIABEL KOMPOSISI PRODUK PIROLISIS MENGGUNAKAN REAKTOR BATCH. 8(3), 167–172.