

SIFAT ARANG EMPAT JENIS KAYU CEPAT TUMBUH DI PROVINSI RIAU SEBAGAI BAHAN BAKU BIOENERGI (BIOBRIKET)

*(The Properties of Charcoal from Four Types of Fast Growing Wood In
Riau Province As A Bioenergy Raw Material (Bio-Briquette)*

Rina Novia Yanti^{1*}, Gustan Pari², Marta Dinata¹, M. Rawa Al Amady¹, Suryanti¹

¹ Prodi Ilmu Lingkungan Fakultas Pascasarjana Universitas Lancang Kuning
Jl. Yos Sudarso Km. 08 Rumbai Pekanbaru Riau Indonesia

²Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km.46, Bogor Indonesia 16911

*Email : rinafahutan@unilak.ac.id

ABSTRACT

The availability of fossil energy will increasingly become scarce. For this reason, alternatives are being sought to use biomass as a renewable energy source. The fast-growing types of wood in Riau Province, namely ketapang (*Terminalia catappa L*), mahang (*Macaranga spp*), simpur (*Dillenia indica.L*), dan pulai (*Alstonia spp*) have not been utilized optimally. Fast growing wood is used as raw material for bioenergy, namely biobriquettes. The proximate analysis carried out was to calculate the water content (%), ash content (%), volatile matter content (%), and calorific value (cal/g). The aim of this research was to analyze the characteristics of the proximate test results of four types of fast-growing wood in Riau Province. The results of the research show that the average ash content of the charcoal is 0.36% according to SNI 01-6235 of 2000, the maximum is 8%. The volatile matter content of charcoal material is 14,5%, making bio briquettes the average volatile matter content value is 12,95% already meets SNI, a maximum of 15%. The average calorific value of raw materials is 4,069 cal/g and after it becomes a product the calorific value becomes 6,368 cal/g, which is set at a minimum of 5000 cal/g. In general, four types of wood grow quickly in the province Riau is recommended as a bio-energy raw material because it meets SNI 01-6235 of 2000.

Key words: fast growing wood, moisture content, volatile matter content, ash content, calorific value.

ABSTRAK

Ketersediaan energi fosil semakin lama akan mengalami kelangkaan. Untuk itu dicari alternatif memanfaatkan biomassa sebagai sumber energi terbarukan. Jenis kayu cepat tumbuh di Provinsi Riau yaitu ketapang (*Terminalia catappa L*), mahang (*Macaranga spp*), simpur (*Dillenia indica.L*), dan pulai (*Alstonia spp*) belum dimanfaatkan secara maksimal. Kayu cepat tumbuh dimanfaatkan sebagai bahan baku bioenergi yaitu biobriket. Analisis proksimat yang dilakukan adalah menghitung kadar air (%), kadar abu (%), kadar zat terbang (%), dan nilai kalor (kal/g). Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis karakteristik hasil pengujian proksimat dari empat jenis kayu cepat tumbuh di Provinsi Riau. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kadar abu arang 0,36% menurut SNI 01-6235 tahun 2000 maksimal 8%. Kadar zat terbang charcoal 14,5 % menjadi biobriket nilai kadar zat terbang rata-rata 12,95% sudah memenuhi SNI yaitu maksimal 15%. Untuk nilai kalor bahan baku rata-rata 4.069 kal/g dan setelah menjadi produk nilai kalor menjadi 6.368 kal/g, yang ditetapkan yaitu minimal 5000 kal/g. Secara umum empat jenis kayu cepat tumbuh di Provinsi Riau direkomendasikan menjadi bahan baku bioenergi karena memenuhi SNI 01-6235 tahun 2000.

Kata kunci : kayu cepat tumbuh, kadar air, kadar zat terbang, kadar abu, nilai kalor.

© 2024 The Author(s).

Published by BRIN Publishing. This is an

open access article under the CC BY-SA

license (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).



39

Submitted : 20/10/2023

Revised : 10/11/2023

Accepted : 13/3/2024

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Menurut ESDM (Suharyati. et.al. 2019) tahun 2050 kebutuhan energi nasional akan meningkat sejalan dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi, penduduk, harga energi, dan kebijakan pemerintah, pangsa kebutuhan energi final terbesar adalah bahan bakar minyak (BBM) yakni sebesar 40,1%, listrik (21,3%), gas (17,7%), batubara (11,0%), dan sisanya LPG, bahan bakar nabati (BBN) dan biomassa masing-masing di bawah 4%. Ketersediaan bahan bakar fosil semakin lama akan semakin menipis mengingat konsumsi dan ketergantungan masyarakat yang masih tinggi terhadap bahan bakar tersebut. Untuk mengantisipasi hal tersebut para peneliti mulai mencari bahan baku sumber energi dari biomassa, seperti pengembangan energi biomassa dari biomassa pertanian, kehutanan dan perkebunan.

Pengembangan bioenergi merupakan salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan energi dimasa yang akan datang. Penggunaan bioenergi dapat mengurangi emisi gas rumah kaca serta dapat mencapai pengembangan energi yang berkelanjutan (Dincer, 2008). Salah satu bioenergi yang berpotensi untuk dikembangkan adalah energi biomassa yang merupakan salah satu sumber energi alternatif terbarukan (Jones & Mayfield 2011).

Biomassa memiliki prospek baik untuk dikembangkan sebagai sumber energi karena sifatnya terbarukan dan dapat dipanen dalam waktu relatif singkat. Berbeda dengan energi fosil yang hanya tersedia di berbagai wilayah tertentu, biomassa dapat diproduksi hampir di semua wilayah sehingga menjadi sumber bioenergi yang sangat penting (IPCC 2007). Biomassa berasal dari bahan atau limbah organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis. Oleh karena itu, penggunaan biomassa sebagai energi akan sangat baik bagi lingkungan terutama dalam mengurangi efek gas rumah kaca karena bahan baku dari fotosintesis adalah karbon dioksida.

Kayu merupakan bahan baku alami yang penggunaannya sangat luas untuk memenuhi berbagai kebutuhan masyarakat dan industri, seperti untuk furniture, konstruksi, kertas,

dan bahan baku energi biomassa. Biomassa merupakan salah satu baku energi alternatif seperti biobriket, bio pellet dan bio-oil pengganti bahan bakar fosil. Biomassa yang dimanfaatkan sebagai bahan baku bioenergi, bisa berasal dari jenis kayu yang tidak komersil, limbah kehutanan, perkebunan dan pertanian (Yanti at al. 2020). Karakteristik kayu sebagai bahan energi biomassa sangat dipengaruhi oleh komponen kimianya seperti selulosa, hemiselulosa, lignin dan zat ekstraktif. Disamping itu, biomassa kayu untuk bioenergi diharapkan memiliki kadar air rendah, kadar abu rendah dan nilai kalor tinggi. Nilai kalor biomassa kayu pada umumnya berkisar antara 4396 kkal/kg (Basu 2013).

Di Provinsi Riau masih banyak jenis kayu cepat tumbuh (*fast growing*) yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Jenis-jenis pohon cepat tumbuh adalah ketapang, pulai, ketapang, simpur. Jenis pohon tersebut belum diketahui sifat fisik dan kimia untuk bahan baku bioenergi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian karakteristik sifat fisik dan kimia untuk pemanfaatan jenis kayu *fast growing* secara maksimal. Adapun tujuan penelitian ini adalah menganalisis sifat proksimat kayu dan arang dari empat jenis yaitu ketapang, pulai, ketapang, simpur kayu cepat tumbuh (*fast growing*) di Provinsi Riau.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kayu ketapang (*Terminalia catappa* L), kayu pulai (*Alstonia* spp), kayu simpur (*Dillenia indica* L) dan kayu mahang (*Macaranga hypoleuca*). Bagian kayu yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagian batang. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa tungku pirolisis, timbangan digital, saringan bertingkat 40 mesh. Untuk alat pengujian sifat proksimat menggunakan cawan porselen, oven, tanur listrik, timbangan analitik, dan desikator. Nilai kalor arang dengan menggunakan alat bomb calorimeter di uji dilaboratorium teknik Universitas Riau.

METODE

Pembuatan Biobriket

Pembuatan bio-briket dilakukan mulai dari proses penyiapan bahan baku, proses pengarangan, proses penghalusan arang yang lolos saringan 40 mesh, dan akhirnya pencetakan serbuk arang menjadi bio-briket. Proses pengarangan dilakukan di dalam tabung reaktor sederhana dengan bahan bakar gas. Bahan baku yang sudah dicacah dimasukkan ke dalam reaktor dan dilakukan pembakaran tidak langsung dengan menggunakan pemanas dari sumber gas selama 4 jam. Bio arang dilakukan penghalusan (crushing) sehingga diperoleh serbuk arang. Serbuk arang dari masing-masing jenis kayu disaring dengan ayakan 40 mesh sebelum akhirnya dicetak menjadi bio briket. Pada penelitian ini diberikan perekat yakni sebesar 4% dari berat bahan baku (Yanti, *at al*, 2022). Proses pembuatan bio briket dilakukan menggunakan alat pencetak bio briket yang telah dilengkapi dengan pengatur tekanan. Alat ini terdiri dari cetakan dan alat pencetak berupa plat baja yang digerakkan secara hidrolik dengan tekanan 5000 kg/cm². Proses pencetakan bio briket dilakukan selama 20 menit dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Bio briket yang telah dicetak dilakukan proses pengeringan dengan oven pada suhu 60 °C selama kurang lebih 24 jam dan setelahnya dilakukan pengujian proksimat. Pengujian meliputi kadar air, pengujian zat terbang, kadar abu, kadar karbon terikat dan nilai kalor.

Pengukuran Kadar air

Prosedur pengukuran kadar air arang dari empat jenis kayu mengacu pada ASTM E-871 (ASTM 2013). Sampel arang sebanyak 1 g dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 105±3 °C atau hingga berat konstan. Kadar air dinyatakan sebagai berat air terhadap berat kering contoh uji yang dinyatakan dalam persen.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{Berat Basah (g)} - \text{Berat Kering (g)}}{\text{Berat Kering}} \times 100\%$$

Pengukuran zat terbang

Penentuan kadar zat terbang mengacu pada standar ASTM D-3175- 02 (ASTM 2003) dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Kadar Zat Terbang (\%)} = \frac{\text{Berat awal bio briket (g)} - \text{Berat bio briket (g)}}{\text{Berat awal bio briket (g)}} \times 100\%$$

Kadar Abu

Ditimbang sebanyak 2 g serbuk bio arang kemudian dimasukkan ke dalam tanur yang sebelumnya tanur sudah dipanaskan mencapai suhu 750 °C selama 4 jam. Setelah 4 jam contoh uji dikeluarkan dari dalam tanur dan dimasukkan dalam desikator untuk mendinginkan dan menstabilkan suhu sampai suhu ruangan dan ditimbang. Penentuan kadar abu bio briket mengacu pada standar ASTM D-3174-04 (ASTM 2003) dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kadar abur (\%)} = \frac{\text{Berat bio briket setelah pemanasan}}{\text{Berat awal bio briket}} \times 100\%$$

Nilai Kalor Kalor

Penentuan nilai kalori yang terkandung dalam bio briket diuji dengan menggunakan bomb calorimeter. Perhitungan nilai kalor dilakukan sesuai dengan standard SNI 01-6235 (2000)

Kadar Karbon Terikat

Kadar karbon terikat = 100% - (kadar abu + kadar zat terbang).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kayu cepat tumbuh merupakan jenis kayu yang tidak bisa digunakan sebagai kayu yang berfungsi untuk kekuatan seperti untuk lantai dan tiang. Kayu cepat tumbuh pada umumnya tergolong kelas kuat III-IV dan memiliki BJ rata-rata antara 0,4 – 0,45 (Widyanto & Siaruddin, 2016). Kayu cepat tumbuh (fast growing) di Provinsi Riau terdapat beberapa jenis diantaranya ketapang (*Terminalia catappa* L), mahang (*Macaranga* spp), simpur (*Dillenia indica*.L),

dan pulai (*Alstonia spp*). Kayu *fast growing* sangat berpotensi sebagai energi terbarukan karena dapat dipanen dalam waktu yang singkat, sehingga kebutuhan bahan baku dapat berkesinambungan. Uji karakteristik kayu sebagai bahan energi biomassa perlu dilakukan karena semua jenis kayu akan berbeda sifatnya baik fisik maupun kimia. Kayu sebagai bahan baku energi biomassa diharapkan memiliki kadar air rendah, kadar abu rendah dan nilai kalor tinggi, hal ini dikarenakan setiap jenis kayu akan berbeda nilai kalornya (Haygreen et al. 2003).

Kadar Air

Kadar air arang bahan baku energi biomassa dari 4 jenis kayu yaitu kayu pulai, mahang, ketapang dan kayu simpur pada tabel 1 berkisar antara 16,30 % -17,41%. Kadar air arang yang diuji adalah kadar air dimana arang saat proses pembakaran supaya tidak menjadi abu, arang dipeciki dengan air, sehingga kadar airnya melebihi standar SNI. Perbandingan kadar air bahan baku dengan kadar air setelah bahan baku dijadikan bio briket seperti terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 1. Setelah dibuat bio briket terjadi penurunan kadar air rata – rata dari 16,7% menjadi 15.3%. Terjadinya penurunan kadar air disebabkan karena pembuatan biobriket menggunakan proses pengempaan dan pengovenan. Untuk menghasilkan briket yang mudah dalam penyalaan atau pembakaran awal, kadar air briket harus rendah agar dapat menghasilkan nilai kalor yang tinggi (Ismayana dan Afriyanto, 2011). Hanya pada kayu pulai

terjadi kenaikan kadar air dari 16,53% menjadi 1,71%. Hal ini disebabkan karena salah satu bahan pencampur perekat biobriket adalah air dan setelah menjadi biobriket kemudian dibiarkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian. Selama dikering angin-anginkan terjadi penyesuaian kadar air dengan lingkungan, karena biobriket bersifat higroskopis. Secara umum, kayu sebagai bahan baku energi biomassa sebaiknya memiliki kadar air lebih rendah dari 20% sehingga akan memudahkan pada tahap pengeringan dan tidak banyak energi terbuang (Reschmeier, 2016). Kadar air yang tinggi di dalam bio briket akan menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk penyalaan akan semakin lama, yang menyebabkan energi yang digunakan dalam proses penyalaan dipergunakan terlebih dahulu untuk menguapkan air lalu diikuti dengan pembakaran bahan.

Kadar Zat Terbang

Menurut Satmoko et al. (2013), kadar zat terbang menunjukkan kandungan zat-zat yang mudah menguap pada pemanasan 950°C yang diantaranya merupakan gas CO₂, CH₄, dan H₂. Kadar zat terbang terendah diantara jenis arang yang diuji adalah arang pulai sebesar 12.58% dan kadar zat terbang tertinggi adalah arang ketapang sebesar 16,41% seperti terlihat pada Tabel 2.

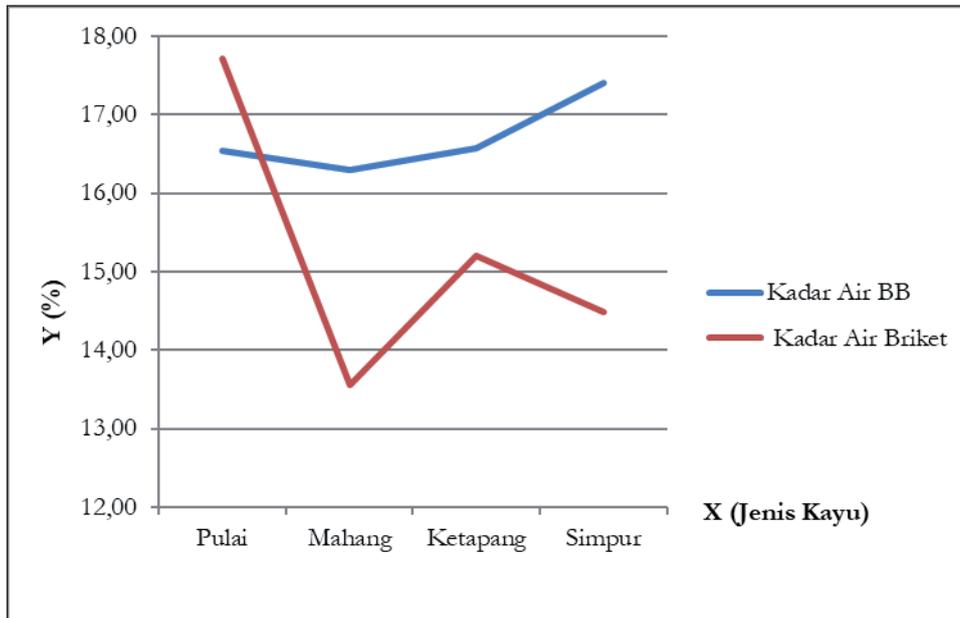
Setelah bahan baku dibuat menjadi produk biobriket, kadar zat terbang terjadi penurunan seperti terlihat pada Gambar 2. Kadar zat terendah 9,45% pada pulai dan tertinggi 14,23% pada Pulai. Sedangkan hasil penelitian Saskia (2017) yang

Tabel 1. Karakteristik Arang dari Empat Jenis Kayu Cepat Tumbuh

No	Parameter	Arang dari Jenis Kayu				SNI 1683:2021
		Pulai	Mahang	Ketapang	Simpur	
1	Kadar Air (<i>Water content</i>)	16,53	16,30	16,57	17,41	≤ 8 ≤ 10
2	Kadar Zat Terbang (<i>Volatile Matter Content</i>)	12,58	15,12	16,41	1,87	10 - 17
3	Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	0,45	0,35	0,36	0,36	4
4	Kadar Karbon Terikat (<i>Fix Carbon</i>)	86,97	84,53	82,03	83,53	≥ 79

Tabel 2. Karakteristik Biobriket dari Empat Jenis Kayu Cepat Tumbuh

Parameter	Bio-briket dari Jenis Kayu (Wood type)			
	Pulai	Mahang	Ketapang	Simpur
Kadar Air (<i>Water content</i>)	17,71	13,55	15,21	14,48
Kadar Zat Terbang (<i>Volatile Matter Content</i>)	9,45	14,23	12,91	12,79
Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	0,28	0,23	0,33	0,15
Karbon Terikat (Fix Carbon)	90,27	85,54	86,76	85,06
Nilai Kalor (<i>Calorific Value</i>)	6581,94	6312,88	6018,34	6558,86



Gambar 1. Perubahan Kadar Air dari Bahan Baku mejadi Biobriket

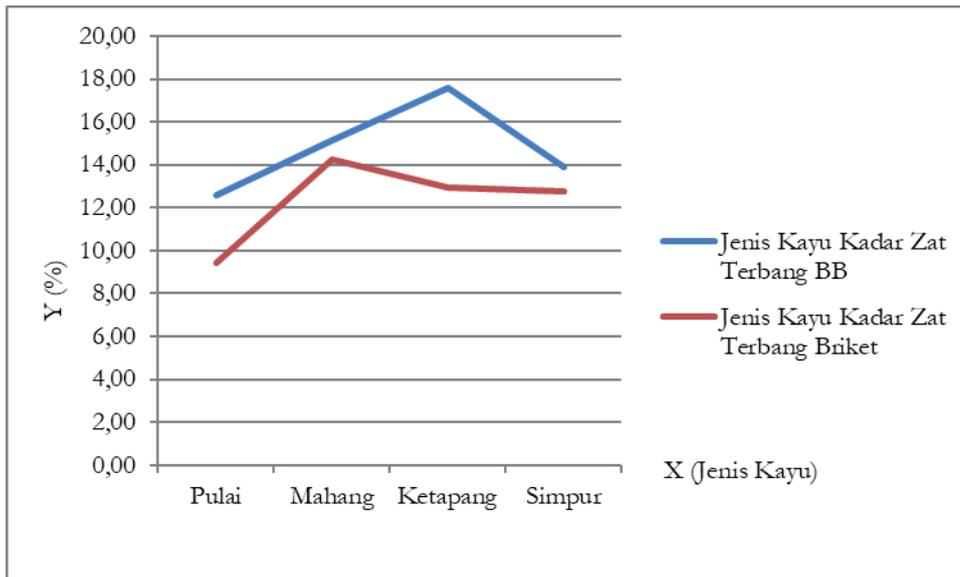
melakukan penelitian arang pada kayu sengon, mindi, nilai zat terbang sebesar $\geq 75\%$. Nilai zat terbang pada penelitian ini masih masuk dalam SNI 1683 : 2021 max 17 %.

Intensitas nyala api dan kesempurnaan pembakaran dipengaruhi oleh kadar zat terbang yang menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kualitas bahan baku setelah dijadikan produk bio briket. Kandungan zat terbang yang tinggi akan lebih mempercepat proses pembakaran bio briket dan meningkatkan nilai kalor. Rasio antara kandungan zat terbang dinyatakan sebagai fuel ratio. Kadar zat terbang yang tinggi dalam bio briket menyebabkan kandungan karbon akan semakin rendah dan asap yang ditimbulkan saat pembakaran semakin banyak, artinya semakin rendah nilai kalor yang dihasilkan (Hasfianti et al., 2019). Nilai zat terbang juga dipengaruhi oleh

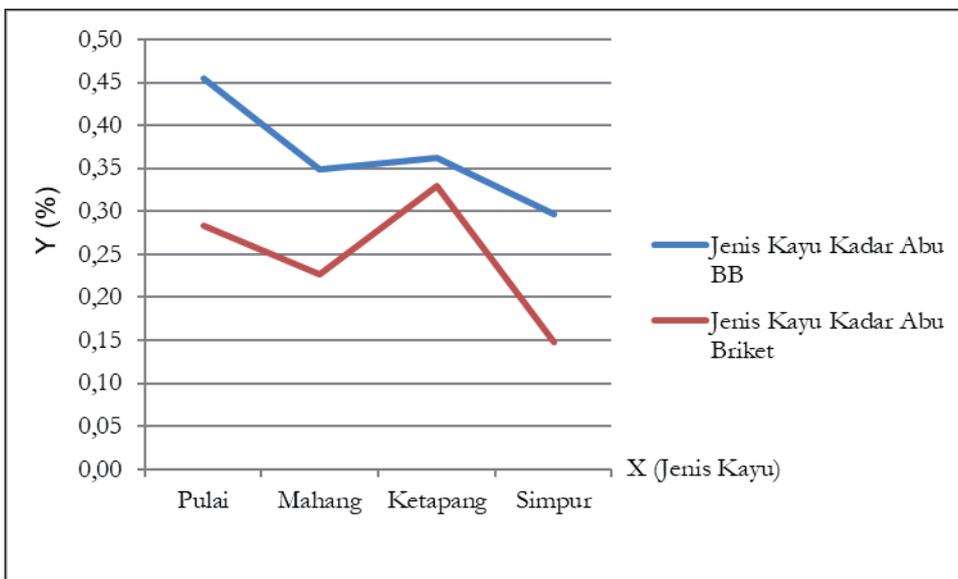
lamanya proses karbonisasi dimana terjadinya proses oksidasi (penguraian) unsur-unsur yang terdapat di dalam bahan baku arang. Proses oksidasi berlangsung sempurna jika selama proses pirolisis suhu stabil dan maksimal (Abnisa et al, 2013)

Kadar Abu

Kadar abu menjadi salah satu parameter penting dalam penilaian biomassa sebagai bahan energi. Abu yang terkandung dalam bahan bakar padat adalah mineral yang tidak dapat terbakar dan tertinggal setelah proses pembakaran (Batubara & Jamilatun, 2012), sehingga abu yang tersisa tidak memiliki karbon lagi (Satmoko et al. 2013). Abu merupakan kandungan anorganik yang merupakan residu yang tersisa setelah pembakaran yang sempurna dari kayu (Brewer,



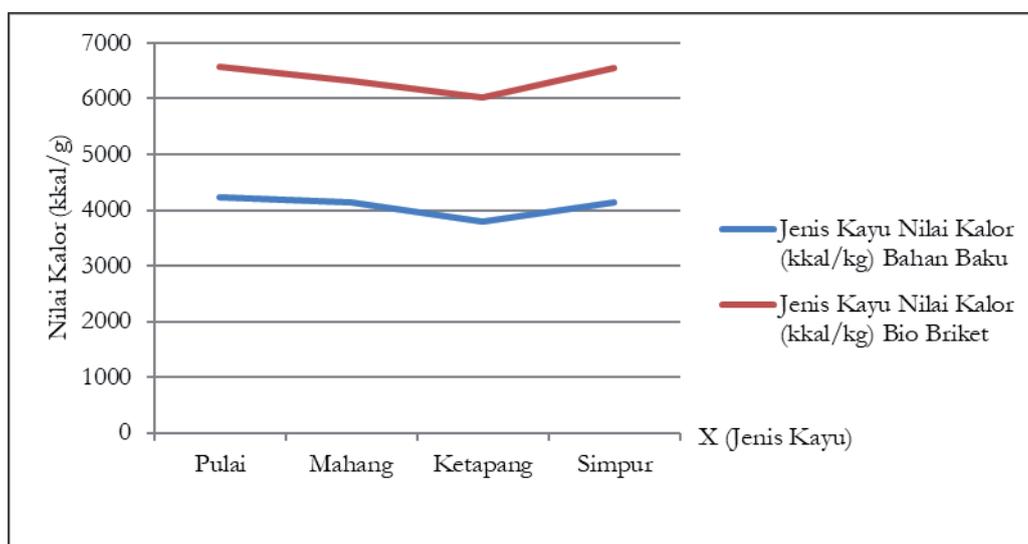
Gambar 2. Perubahan Kadar Zat Terbang dari Bahan Baku mejadi Biobriket



Gambar 3. Perubahan Kadar Abu dari Bahan Baku mejadi Biobriket

2012). Kadar abu bervariasi beberapa tipe biomasa dapat berbeda-beda. Menurut Jamilatun (2011), komposisi abu dipengaruhi oleh jenis tanaman, kondisi tempat tumbuh, dan fraksi abu sedangkan kandungan mineral dalam biomasa (unsur dari abu) dipengaruhi oleh kondisi mineral pada lokasi yang bersangkutan. Kadar abu lima jenis kayu yang diuji berkisar 0,30-0,45%, tertinggi dalam kayu pulai dan terendah dalam kayu simpur (Gambar 3). Apabila kayu hendak digunakan sebagai baku bio pelet, maka kandungan abu dibawah 0,7% (Oberberger dan Thek, 2010).

Komponen utama abu dalam beberapa kayu tropis adalah kalium (K), kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan silika (Si) yang dapat mengurangi laju gasifikasi (Reschmeier & Karl 2016). Salah satu unsur utama abu yaitu silika memiliki pengaruh kurang baik terhadap nilai kalor yang dihasilkan dan dapat memperlambat proses pembakaran (Sudiro 2014). Berdasarkan hasil penelitian ini kadar abu empat jenis kayu yang diuji baik untuk dijadikan sebagai bahan baku energi biomassa dan dibuat menjadi produk biobriket memenuhi SNI 1683 : 2021 sebesar 4



Gambar 4. Perubahan Nilai Kalor dari Bahan Baku mejadi Biobriket

%, artinya bahwa empat jenis bahan baku yaitu pulai, mahang, ketapang dan simpur sesuai untuk dijadikan bahan baku energi biomassa.

Kadar Karbon Terikat

Kualitas yang dihasilkan dalam pembuatan briket didasarkan pada kadar karbon terikat. Kadar karbon terikat merupakan jumlah karbon murni yang terikat dalam arang. Analisis karbon terikat murni bertujuan untuk mengetahui jumlah karbon yang tersisa setelah proses karbonisasi dan saat aktivasi berlangsung. Kadar karbon terikat dipengaruhi oleh kadar zat mudah menguap dan kadar abu. Semakin baiknya kualitas kadar karbon terikat maka akan semakin baik pula kualitas briket tersebut (Pari, 2002 ; Yanti et al. 2022).

Kadar karbon terikat dari 4 jenis kayu cepat tumbuh di Provinsi Riau dengan nilai terendah 82,03 % pada jenis Ketapang dan tertinggi 8,97 % pada kayu pulai. Hasil penelitian Hastuti et.al (2015) arang pada beberapa jenis kayu di Jawa Barat nilai karbon terikat antara 7,42 – 82,37%, pada jenis kayu BJ rendah sampe BJ tinggi. Setelah empat jenis arang dari hasil penelitan ini dijadikan biobriket nilai karbon terikatnya meningkat menjadi 85,06 – 90, 27% dan memenuhi SNI 1683 : 2021 besar sama dengan 79%. Pari et al.(1996) menyatakan bahwa besarnya kadar karbon terikat dipengaruhi oleh

zat terbang, kadar abu dan senyawa hidrokarbon yang masih menempel di permukaan arang. Nilai kadar karbon terikat dari produk arang dapat dijadikan dasar penggunaan tertentu.

Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan parameter utama yang digunakan untuk menentukan kualitas bahan baku energi biomassa. Nilai kalor merupakan hasil interaksi dari komponen kimia penyusun biomassa yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kadar air, kadar zat terbang, kadar abu dan kadar karbon terikat (Basu 2010).

Nilai kalor kayu yang diuji berkisar 3784,37 kkal/kg sampai 4223,51 kkal/kg pada bahan baku dan 6018,34 kkal/kg sampai 6581,94 kkal/kg setelah menjadi biobriket. Nilai kalor pada biobriket tertinggi dihasilkan dari kayu pulai dan terendah dari kayu ketapang. Nilai kalor terendah dan tertinggi pada biobriket di atas nilai SNI No 01- 6235- 2000 , seperti terlihat pada Tabel 1 dan 2 dan pada Gambar 4.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas kayu sebagai bahan baku bioenergi setelah diolah menjadi produk biobriket

memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) 01-6235 (2000). Kadar abu rata-rata hasil penelitian 0,36% menurut SNI maksimal 8%. Kadar zat terbang hasil penelitian bahan baku 14,5 % menjadi biobriket nilai kadar zat terbang rata-rata 12,95 sudah memenuhi SNI yaitu maksimal 15%. Untuk nilai kalor bahan baku rata-rata bahan baku 4.069 kal/g dan setelah menjadi produk nilai kalor menjadi 6.368 kal/g, memenuhi SNI yang ditetapkan yaitu minimal 5000 kal/g.

2. Ke empat jenis kayu direkomendasikan sebagai bahan baku bioenergi khususnya untuk biobriket.

DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Wan Daud, W. M. A., Sahu, J. N., & Noor, I. M. (2013). Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76, 1073–1082. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.038>
- [ASTM] American Society for Testing Material. (2003). ASTM E-871. *Test Method for Moisture in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken (US): ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing Material. (2013). ASTM D-3175. *Test Method for Method for Fixed Carbon In Wood*. USA.
- Badan Standarisasi Nasional Indonesia. (2000). *Briket Arang Kayu*. SNI Nomor 01- 6235- 2000.
- Brewer CE. (2012). Biochar characterization and enigneering. [dissertation], Iowa State University
- Basu P. (2013). Biomass Gasification and Pyrolysis, Practical Design and Theory. Burlington (US): Academic Press.
- Batubara, B., & Jamilatun, S. (2012). Ignition and Combustion Properties of Biomass Briquettes, Coal Briquettes and Wood Charcoal. *Journal Rekayasa Proses*, 2(2): 37–40. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.554>.
- Dincer K. (2008). Lower emissions from biodiesel combustion. *Energy Sources Part A*. 30: 963–968.
- Hasfianti, F. E., Sriningsih, E., & Subhanuddin, D. (2019). Briquettes Quality Made of Left Over Galam Felling Waste for Alternative Energy Sources. *Journal Penelitian Hasil Hutan*, 37(3), 223–232.
- Ismayana, A., & Moh Rizal Afriyanto, dan. (2011). the Effects of Adhesive Type and Concentration in the Manufacturing of Filter Cake Briquettes As an Alternative Fuel. *J. Tek. Ind. Pert*, 186(3), 186–193.
- Hastuti N, Pari G, Setiawan D, Mahpudin, Saepuloh. (2015). Kualitas Arang Jenis Kayu Asal Jawa Baratenam Sebagai Produk Destilasi Kering. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan* , 33 (4) : 337-346
- Haygreen JG, Bowyer JL. (2003). Hasil Hutan dan Ilmu Kayu. Penerjemah: Prawirohatmodjo S. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). *IPCC Climate Change: the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Paris (FR): UN
- Jamilatun S. (2011). Kualitas sifat-sifat penyalaaan dari pembakaran briket tempurung kelapa, briket serbuk gergaji kayu jati, briket sekam padi, dan briket batubara. *Journal Conversion Management* 43: 1291-129
- Jones CS, Mayfield, Stephen P. (2011). Algae biofuels: versatility for the future of bioenergy. *Journal Biotech*. 23: 346-351.
- Obernberger I, Thek G. (2004). Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass Bioenergy*. 27: 653-659.
- Pari, G. (2002). Teknologi Alternatif Pemanfaatan Sampah Industri Pengolahan Kayu. (Makalah Falsafah Sains). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Pari, G., Setiawan D., & Mahpudin. (1996). Hasil, destilasi kering 10 jenis kayu dari Nusa Tenggara Barat. *Buletin Penelitian Hasil Hutan* 14, (8), 12-18.
- Reschmeier R, Karl J. (2016). Experimental study of wood char gasification kinetics in fluidized beds. *Biomass Bioenergy* 85: 288-299.
- Saskia, T. (2017). Sifat Kimia Dan Proksimat Lima Jenis Kayu Sebagai Bahan Baku Energi Biomassa. Skripsi IPB. Bogor
- Satmoko MEA, Saputro DD, Budiyo A. (2013). Karakterisasi briket dari limbah pengolahan kayu sengon dengan metode cetak panas. *Journal Mechanical Engin Learning*. 2(1):1-8.
- Sudiro SS. (2014). Pengaruh Komposisi dan Ukuran Serbuk Briket yang Terbuat dari Batubara dan Jerami Padi terhadap Karakteristik Pembakaran. Surakarta(ID).

- Suharyati, Pambudi, SH, Wibowo JL, Pratiwi NI. (2019). Indonesia Energy Outlook 2019. Penerbit DEN.
- Widiyanto, A & Siarudin, M. (2016). Karakteristik Sifat Fisik Kayu Jabon (*Anthocephalus Cadamba* Miq) Pada Arah Longitudinal Dan Radial. *Jurnal Hutan Topis* 4(2): 102-108.
- Yanti RN, Ratnaningsih AT, Ikhsani H. (2022). Pembuatan bio-briket dari produk pirolisis biochar cangkang kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif. *Jurnal Pertanian* 19 (1) : 11-18.

