

POTENSI BEBERAPA JENIS BAMBU DI INDONESIA UNTUK BAHAN ENERGI BIOMASSA

The Potential of Several Bamboo in Indonesia for Biomass Energy

Deded Sarip Nawawi^{1*}, Priyanto², Adesna Fatrawana³

(Diterima 11 November 2025/ Disetujui 15 Desember 2025)

ABSTRACT

Biomass is a renewable alternative energy source with abundant potential. The weakness of biomass as an energy material is its very diverse nature and lower calorific value compared to fossil-based energy. Pyrolysis is one of the energy conversion methods with the aim of increasing energy density with various forms of energy. This study aims to analyze seven bamboo species as energy materials with proximate analysis, and the pyrolysis was applied to increase their calorific value. Pyrolysis was carried out at a temperature of 350 °C for one hour and the characterization of bamboo and charcoal products was carried out with proximate analysis. The results showed that bamboo has the potential for biomass energy materials with an average calorific value of the seven bamboo species studied of 3941 kcal/kg (3869–4327 kcal/kg) with an average level of fixed carbon, volatile matter, and ash of 24.39%, 73.24%, and 2.37%, respectively. Pyrolysis increased the average calorific value by 70.34% from an average of 3941 kcal/kg of bamboo to an average of 6713 kcal/kg of their char. The increase in the calorific value of the char was mainly related to an increase in the average bound carbon content by 50.27% and a decrease in the average volatile matter content by 70.34%. Based on calorific value and ash content; betung, gombong, and mayan bamboos meet the requirements as biomass energy materials according to SNI 8951:2020.

Keywords: bamboo, biomass, calorific value, proximate analysis, renewable energy

¹ Departemen Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

² Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

³ Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Khairun, Kota Ternate, Maluku Utara

*Penulis korespondensi: Deded Sarip Nawawi
e-mail: dsnawawi@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Biomassa merupakan salah satu sumber energi alternatif berprospek tinggi karena terbarukan dan ramah lingkungan. Berbagai sumber bahan baku biomassa perlu dieksplorasi mulai dari tanaman energi, limbah kehutanan, residu pertanian, dan sampah organik untuk meningkatkan ketersediaan sumber daya energi. Hasil hutan yang terdiri atas kayu dan bukan kayu dapat menjadi sumber energi penting karena dapat dihasilkan berkelanjutan dari hutan yang dikelola secara lestari dan dapat dikonversi menjadi beragam jenis energi. Bambu merupakan salah satu biomassa hasil hutan dengan karakteristik yang sesuai untuk banyak penggunaan, antara lain memiliki karakteristik yang potensial sebagai bahan baku energi (Aizuddin *et al.* 2023, Jimenez *et al.* 2025).

Biomassa bambu termasuk bahan berlignoselulosa yang disusun oleh komponen selulosa, hemiselulosa, lignin, zat ekstraktif dan mineral (Nawawi *et al.* 2018). Oleh sebab itu, bambu juga dikenal memiliki nilai kalor yang cukup baik sebagai bahan energi (Rusch *et al.* 2020). Bambu sebagai bahan lignoselulosa dapat dikonversi menjadi berbagai macam bentuk produk energi seperti bentuk solid, cair, dan gas (Awogbemi dan Desai 2025). Potensi jenis bambu di Indonesia sekitar 157 jenis (Widjaja dan Karsono 2005).

Setiap jenis bambu memiliki karakteristik yang berbeda yang berperan penting pada kesesuaian penggunaannya. Bambu telah digunakan sebagai bahan energi tradisional seperti halnya kayu bakar, tetapi untuk pengembangan produk konversi energi dari bambu menuntut pemahaman memadai terhadap karakteristik dasar bambu untuk bahan energi.

Penggunaan biomassa untuk bahan energi dapat diduga berdasarkan analisis proksimat yaitu kadar air, kadar abu, kadar zat terbang, karbon terikat, dan nilai kalor (Basu 2010), dan hasil analisis proksimat biomassa dipengaruhi oleh kadar komponen kimia biomassa (Nawawi *et al.* 2018; Fatrawana *et al.* 2021). Secara umum, biomassa dengan kadar lignin dan zat ekstraktif berkarbon tinggi berkecenderungan memiliki nilai kalor tinggi sebagai akibat dari tingginya kadar karbon terikat dan rendahnya kadar zat terbang (Mauladdini *et al.* 2022; Nawawi *et al.* 2018). Penelitian ini menganalisis sifat proksimat beberapa jenis bambu yang tumbuh di Indonesia sebagai karakteristik penduga kesesuaian biomassa untuk bahan energi. Selain itu, karakteristik proses pirolisis dan produk arang dari bambu diuji sebagai upaya untuk meningkatkan kerapatan energi biomassa melalui degradasi termal (Jimenez *et al.* 2025).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Penelitian menggunakan tujuh jenis bambu yang berasal dari daerah Yogyakarta yaitu ampel (*Bambusa vulgaris*), apus (*Gigantochloa apus*), ori (*B. blumeana*), kuning (*B. vulgaris* var. *striata*); dan Jawa Barat yaitu bambu betung (*Dendrocalamus asper*), mayan (*Gigantochloa robusta*), dan gombong (*Gigantochloa pseudoarundinacea*). Alat yang digunakan adalah Willey mill, alat penyaring, oven, penangas air, timbangan analitik, cawan porselen, dan desikator.

Prosedur Penelitian

Penyiapan Bahan

Analisis karakteristik biomassa untuk energi menggunakan sampel serbuk biomassa bambu berukuran 40-60 mesh. Sampel bambu dan kayu dicacah dan dikeringkan hingga kering udara. Serbuk digiling menggunakan willey mill dan disaring dengan saringan bertingkat untuk memperoleh serbuk lolos saringan 40 mesh dan tertahan saringan 60 mesh. Sampel bambu untuk proses pirolisis

berbentuk serpih bambu berukuran (5x2x1) cm³ dalam kondisi kering udara. Kadar air kering udara serpih bambu dihitung berdasarkan bobot air terhadap berat kering oven serpih bambu yang dinyatakan dalam persen.

Proses Pirolisis

Serpih bambu kering udara sebanyak 500 g dipirolisis dalam tungku pirolisis bersuhu 350 °C selama satu jam. Setelah itu, produk arang bambu dikoleksi dan ditimbang bobotnya untuk menentukan rendemen produk. Rendemen produk arang dihitung sebagai nisbah berat arang terhadap berat serpih bambu yang dinyatakan dalam persen. Karakterisasi arang sebagai bahan energi menggunakan analisis proksimat dengan sampel berbentuk serbuk arang hasil penggilingan dan fraksinasi dengan ukuran partikel 40–60 mesh.

Analisis Proksimat

Karakteristik biomassa dan arang untuk bahan energi diuji kadar air, kadar abu, zat volatil, karbon terikat, dan nilai kalor. Pengujian merujuk pada *American Society for Testing and Materials* (ASTM) yang terdiri atas: pengujian kadar air (ASTM E 871), kadar abu (ASTM D 1102), zat volatil (ASTM E 872). Kadar karbon terikat dihitung sebagai pengurangan kadar abu dan zat terbang terhadap 100% bahan dalam sampel. Nilai kalor diuji dengan *bomb calorimeter* dan dinyatakan dalam kilo kalori per kilogram biomassa (kkal/kg). Nilai kalor biomassa juga dapat diduga dari nilai karbon terikat dan kadar zat terbang (Demirbas 2001). Data analisis proksimat bambu asal Jawa Barat merujuk pada data hasil penelitian Nawawi *et al.* (2018).

Analisis Data

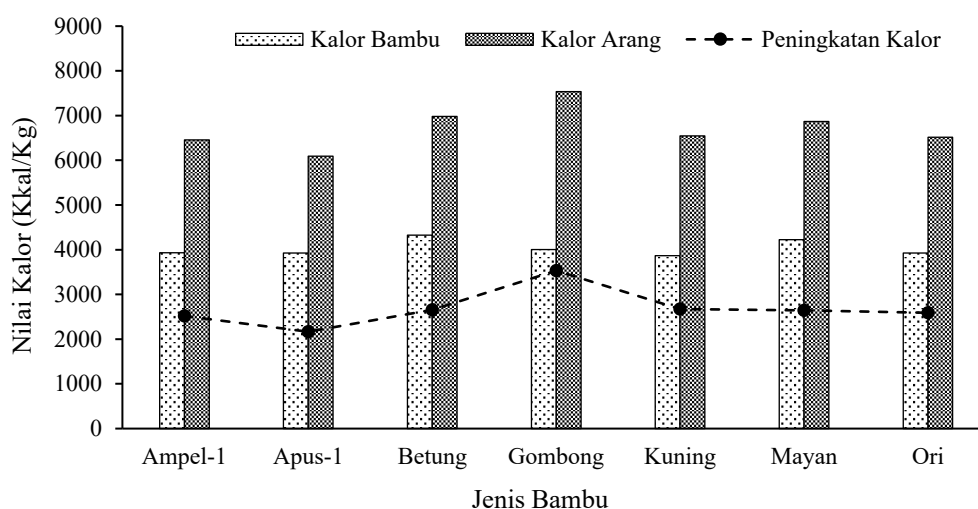
Pengujian dilakukan sebanyak dua ulangan dan data penelitian dibahas secara deskriptif untuk membandingkan antar biomassa bambu dengan mengacu pada standar biomassa untuk energi berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI). Kecenderungan dan penyajian data menggunakan *Microsoft Excel* 2019. Data ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai ilustrasi komposisi biomassa bambu yang berperan terhadap penggunaannya sebagai bahan energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Kalor Bambu dan Arang

Proses pirolisis bertujuan untuk meningkatkan kerapatan energi biomassa melalui dekomposisi fraksi volatil dari bahan dengan produk utama berupa arang dan menyebabkan peningkatan proporsi karbon. Bahan energi dengan kadar karbon tinggi dan volatil rendah akan memiliki nilai kalor tinggi, sehingga kerapatan energi menjadi tinggi. Gambar 1 menunjukkan peningkatan nilai kalor arang dari biomassa bambu dengan proses pirolisis pada suhu 350 °C rata-rata sebesar 2682 kkal/kg (2166–3532 kkal/kg). Rata-rata nilai kalor bambu sebesar 3941 kkal/kg meningkat menjadi rata-rata 6713 kkal/kg untuk produk arangnya. Nilai kalor biomassa ditentukan oleh kadar komponen kimianya yang dipengaruhi oleh jenis, umur, dan lokasi tempat tumbuh. Secara umum biomassa yang memiliki nisbah kadar lignin terhadap selulosa dan nisbah unsur karbon terhadap oksigen tinggi akan menghasilkan nilai kalor pembakaran tinggi (Basu 2010; Nawawi *et al.* 2018). Walaupun data pada Gambar 1 mengindikasikan bahwa bambu yang berasal dari Jawa Barat memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan dengan bambu dari daerah Yogyakarta, tetapi hal tersebut bisa juga dipengaruhi oleh perbedaan jenis dan umur tanaman bambu.

Perbedaan kadar dan komposisi kimia biomassa bambu juga dapat berpengaruh terhadap rendemen produk arang dari proses pirolisis, sehingga rendemen produk arang beragam berdasarkan jenis bambu. Menurut Basu (2010), rendemen arang dari biomassa dipengaruhi oleh komposisi kimia biomassa terutama lignin, karena lignin disusun oleh lebih banyak karbon dengan suhu degradasi termal paling tinggi. Biomassa umumnya terdekomposisi pada suhu 220 hingga 300 °C untuk hemiselulosa, 300–340 °C untuk selulosa, dan 300–900 °C untuk lignin. Selain itu, selulosa dan hemiselulosa terdekomposisi lebih cepat dibandingkan dengan lignin (Hu *et al.* 2016; El-Sayed *et al.* 2024). Proses pirolisis terutama mendegradasi karbohidrat penyusun biomassa dan menyisakan produk arang dengan kadar karbon tinggi yang terutama berasal dari lignin. Rendemen arang bambu yang diteliti berkisar 23,02–38,69% dengan rata-rata sebesar 30,16%. Selain dipengaruhi oleh karakteristik kimia bahan, rendemen arang juga dapat dipengaruhi oleh kondisi proses pirolisis. Proses pirolisis umumnya dilakukan pada kisaran suhu 300 - 400 °C (Basu 2010). Suhu pirolisis lebih rendah dapat meningkatkan rendemen arang tinggi tetapi nilai kalor yang lebih rendah karena masih tingginya fraksi volatil.



Gambar 1 Nilai kalor beberapa jenis bambu dan perubahannya akibat proses pirolisis

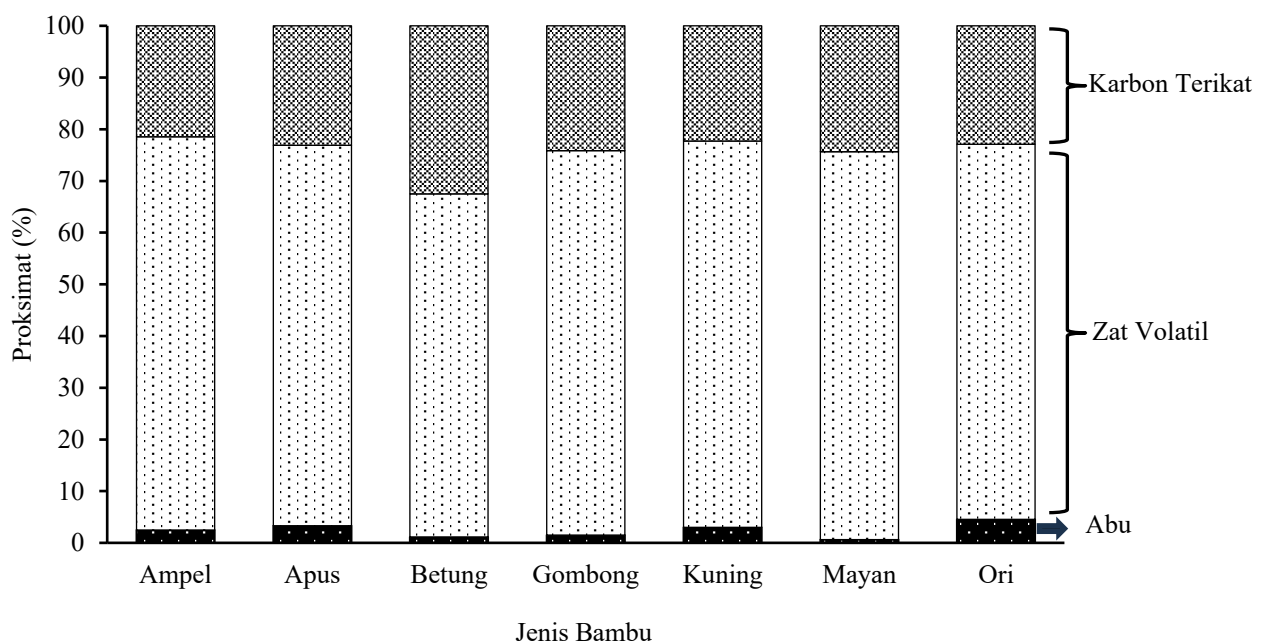
Kadar Abu, Volatil, dan Karbon Terikat Biomassa dan Arang Bambu

Karakteristik biomassa untuk energi dapat diduga berdasarkan analisis proksimat yaitu kadar abu, kadar zat volatil, dan karbon terikat. Kadar karbon terikat merupakan parameter penduga utama yang berkorelasi positif dengan nilai kalor biomassa. Semakin tinggi kadar karbon terikat maka nilai kalor akan semakin tinggi pula. Sementara itu, zat volatil adalah fraksi menguap selama degradasi termal dan dapat mengurangi nilai kalor bersih, dan kadar abu adalah fraksi yang tidak terbakar yang tersisa dari proses pembakaran sehingga berpengaruh negatif terhadap nilai kalor per satuan bobot biomassa. Oleh sebab itu, klasifikasi biomassa dengan nisbah oksigen/karbon (O/C) rendah (Basu 2010) atau nisbah selulosa dan hemiselulosa terhadap lignin (S/L dan H/L) rendah umumnya memiliki nilai kalor tinggi (Nawawi *et al.* 2018).

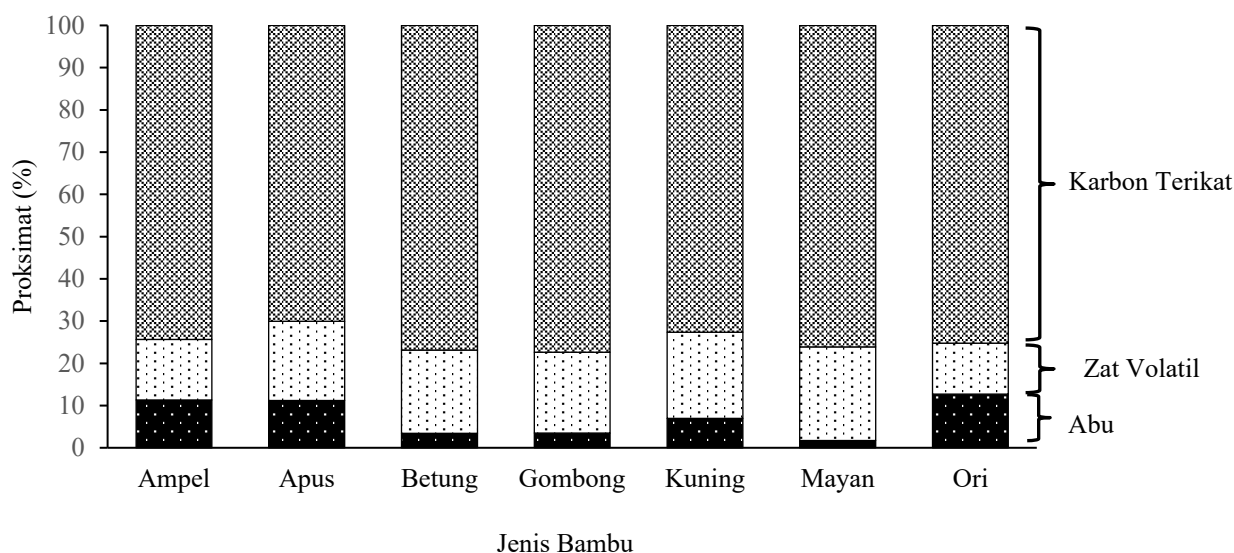
Hasil analisis proksimat biomassa bambu, seperti halnya biomassa tumbuhan berkayu, umumnya menghasilkan zat volatil tinggi karena biomassa terutama disusun oleh komponen selulosa dan hemiselulosa yang banyak mengandung unsur oksigen. Kadar zat volatil bambu yang diuji rata-rata sebesar 73,24% (66,33–76,03%) (Gambar 2). Penelitian sebelumnya terhadap berbagai jenis biomassa menunjukkan bahwa kadar zat volatil biomassa berkisar 75–85% (Fuwafe *et al.* 1997), kulit kayu berkisar 69,41–78,02% (Nawawi *et al.* 2018, Pratama & Nawawi 2025), dan bambu berkisar 70,31–83,26% (Rusch *et al.* 2020, 2021). Fraksi zat volatil akan berpengaruh terhadap proporsi

karbon terikat dalam biomassa, yaitu semakin tinggi fraksi zat terbang maka proporsi karbon terikat dalam biomassa akan semakin rendah (Gambar 2), yang berpengaruh terhadap rendahnya nilai kalor kayu.

Kadar unsur karbon merupakan faktor utama penentu nilai kalor biomassa (Basu 2010), dan dapat diduga melalui analisis proksimat sebagai karbon terikat. Karbon terikat bambu yang diuji rata-rata 24,39% (21,46–32,52%). Kadar karbon terikat sangat beragam yang dipengaruhi oleh kadar zat volatile dan kadar abu, sehingga kadar karbon terikat biomassa sangat beragam. Penelitian Park *et al.* (2019) dan Rusch *et al.* (2021) terhadap jenis bambu yang berbeda menunjukkan kadar karbon terikat bambu berkisar 10,8–18,4%. Biomassa untuk bahan energi sebaiknya memiliki karbon terikat minimal 16% (Stahl *et al.* 2004). Perbedaan kadar karbon terikat bambu akan berpengaruh terhadap nilai kalor (Rusch *et al.* 2021; Nawawi *et al.* 2018) dan rendemen arang bambu melalui proses karbonisasi (Park *et al.* 2019). Oleh sebab itu, jenis bambu yang diteliti umumnya berpotensi untuk bahan energi biomassa. Standar SNI 8951:2020 tentang pelet biomassa untuk pembangkit listrik mensyaratkan kadar zat terbang dan karbon terikat untuk kualitas standar masing-masing 71% dan 16% (BSN 2020). Peningkatan nilai kalor melalui peningkatan kadar karbon terikat dapat dilakukan melalui proses pirolisis pada suhu relatif rendah sekitar 300–400 (Basu 2010), walaupun nilai kalor bersih pembakaran biomassa dipengaruhi juga oleh perbedaan komposisi kimia biomassa dan kadar air biomassa.



Gambar 2 Hasil analisis proksimat biomassa beberapa jenis bambu



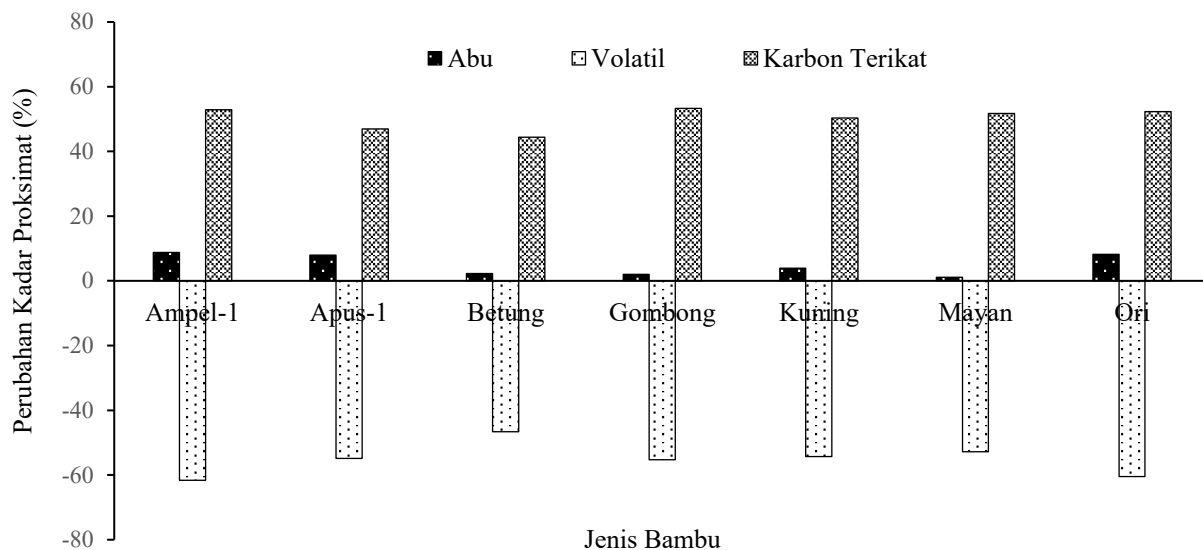
Gambar 3 Hasil analisis proksimat arang beberapa jenis bambu

Kadar abu berpengaruh negatif terhadap nilai kalor bersih per satuan bobot biomassa karena abu tidak berkontribusi terhadap nilai kalor (Mc Kendry 2002). Kadar abu semakin tinggi menyebabkan bobot biomassa organik lebih rendah sehingga nilai kalor yang dinyatakan sebagai kilo-kalori/kg bahan yang dihasilkan dari pembakaran bahan organik menjadi lebih rendah. Kadar abu bambu yang diteliti berkisar 1,69–4,55% (Gambar 2). Biomassa berkadar abu kurang dari 5% dikategorikan baik untuk bahan energi (Rajvanshi & Goswami 1986). Sementara itu SNI tentang pellet biomassa mensyaratkan kadar abu maksimal 3% untuk kualitas standar dan maksimal 1,5% untuk kualitas premium (BSN 2020). Penelitian sebelumnya terhadap jenis bambu berbeda memiliki kadar abu berkisar 1,15–2,68% (Park *et al.* 2019) dan berkisar 1,45–2,76% (Rusch *et al.* 2021). Selain itu, kadar air biomassa dapat berpengaruh negatif terhadap karakteristik biomassa untuk energi. Air dalam biomassa dapat menyulitkan proses pembakaran dan mengurangi kalor bersih akibat dari sebagian kalor digunakan untuk evaporasi air. Namun, penentuan sifat proksimat dan nilai kalor biomassa umumnya didasarkan pada bobot kering biomassa dan dalam penggunaan biomassa untuk bahan energi, kadar air dapat dikontrol sesuai kondisi yang dibutuhkan melalui proses pengeringan. Kelemahan utama biomassa untuk bahan energi adalah nilai kalornya yang beragam dan umumnya lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar berbasis fosil. Pirolisis merupakan salah satu teknik konversi biomassa dengan tujuan untuk meningkatkan nilai kalor biomassa. Selain itu, pirolisis dapat menghasilkan tiga bentuk bahan energi yaitu solid berupa arang, gas, dan cair berupa bio-oil dengan proporsi rendemen produk bergantung pada kondisi proses degradasi termalnya. Proses pirolisis bersuhu relatif rendah digunakan untuk menghasilkan produk utama berupa arang, sedangkan proses pirolisis pada suhu lebih tinggi dengan laju pemanasan cepat ditujukan untuk menghasilkan produk utama berupa bio-oil. Sementara itu, proses pirolisis dengan suhu lebih tinggi dan laju pemanasan lebih cepat digunakan untuk menghasilkan gas (Basu 2010).

Pirolisis pada penelitian ini menggunakan suhu 350 °C dengan target produk utama berupa arang dengan tujuan untuk meningkatkan kerapatan energi bahan. Mekanisme yang diharapkan adalah terjadinya degradasi parsial pada komponen kimia kayu terutama polisakarida yang memiliki oksigen tinggi sehingga dapat menurunkan kadar zat volatil dan meningkatkan karbon terikat sehingga nilai kalor tinggi. Berdasarkan Gambar 3, proses pirolisis meningkatkan nilai kalor bambu rata-rata 70,34% (55,17–88,19%) dan peningkatan nilai kalor tersebut terutama sebagai akibat dari penurunan kadar zat volatil dan peningkatan karbon terikat (Gambar 4). Kadar karbon terikat meningkat rata-rata 50,27% (44,36–53,27%) dan penurunan kadar zat volatil rata-rata 55,15%

(46,60–61,67%). Peningkatan kadar abu relatif kecil yaitu rata-rata 4,88% (1,07–8,78%) sebagai akibat dari dekomposisi bahan organik biomassa selama proses pirolisis. Kadar karbon terikat arang rata-rata sebesar 74,67%, zat volatil sebesar 18,09% dan kadar abu 7,25%. Penelitian Park *et al.* (2019) menunjukkan bahwa pirolisis beberapa jenis bambu dengan suhu 600 °C menghasilkan arang dengan nilai kalor 7385–7815 kkal/kg dari kalor bambu sebesar 4350–4490 kkal/kg. Peningkatan nilai kalor tersebut berkaitan dengan peningkatan kadar karbon terikat dan penurunan kadar zat terbang. Salim *et al.* (2019) melakukan pengarangan dua jenis bambu menghasilkan arang dengan nilai kalor berkisar 6092 dan 7537 kkal/kg dengan kadar karbon terikat 78,71 dan 79,82%, serta zat terbang 14,64 dan 14,47%.

Nilai kalor merupakan parameter utama penentu kualitas biomassa untuk energi. Nilai kalor merupakan hasil interaksi dari kadar karbon terikat, zat terbang, dan kadar abu biomassa (Basu 2010). Parameter kadar zat terbang dan karbon terikat dipengaruhi oleh komposisi dan kadar komponen kimia biomassa. Selain nilai kalor, kadar abu juga menjadi parameter penting dalam kualitas biomassa untuk bahan energi karena akan memengaruhi nilai kalor bersih proses pembakaran biomassa dan kinerja konversi energi pada suhu tinggi. Berdasarkan nilai kalor dan kadar abu, SNI 8951:2020 tentang bio pelet mensyaratkan nilai kalor minimal 4000 kkal/kg dengan kadar abu maksimal 4% (BSN 2020), sehingga jenis bambu yang baik untuk bahan energi diantara tujuh bambu yang diteliti adalah bambu betung, gombang dan mayan. Arang dari bambu betung, gombang, dan mayan telah memenuhi standar SNI 1683:2021 tentang arang kayu yang mensyaratkan nilai kalor 6000–6500 kkal/kg untuk mutu dua dan lebih besar dari 6500 kkal/kg untuk mutu pertama dengan kadar abu tidak lebih dari 4% (BSN 2021).



Gambar 4 Perubahan kadar karbon terikat, zat volatil, dan abu bambu akibat proses pirolisis

SIMPULAN

Berdasarkan analisis proksimat, bambu yang diuji berpotensi untuk bahan energi biomassa dengan nilai kalor berkisar 3869–4327 kkal/kg. Kadar karbon terikat bambu, zat volatil, dan abu bambu rata-rata sebesar 24,39%, 73,24%, dan 2,37%. Pirolisis bambu menghasilkan rendemen arang rata-rata 30,16% dengan nilai kalor sebesar 6713 kkal/kg atau meningkat rata-rata sebesar 70,34%. Kadar karbon terikat arang sebesar 74,67% atau meningkat sebesar 50,27%, kadar zat volatil arang rata-rata 18,09% atau menurun sebesar 70,34%, dan kadar abu meningkat dari 2,37% pada bambu menjadi 7,25% pada produk arang. Berdasarkan nilai kalor dan kadar abu, bambu betung, gombang dan mayan memenuhi kriteria untuk bahan energi biomassa berdasarkan SNI 8951:2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Aizuddin KNAK, Lai KS, Baharum NA, Yong WTL, Hoon LN, Hamid MZA, Cheng WH, Abdullah JO. 2023. Bamboo for biomass energy production. *BioResources*. 18(1): 2386-2407.
- Awogbemi O, Desai DA. 2025. Harnessing the potentials of bamboo as a sustainable feedstock for bioenergy production. *Advances Bamboo Sci*. 12: 100173.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2007. ASTM D-1102. *Test Method for Ash in Wood*. West Conshohocken: ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2013. ASTM E-871- 82. *Test Method for Moisture in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Conshohocken: ASTM International.
- [ASTM] American Society for Testing and Material. 2013. ASTM E-872-82. *Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels*. West Coshohocken: ASTM International
- Basu P. 2010. Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design. New York: Elsevier.
- BSN [Badan Standar Nasional]. 2000. SNI 8951:2020 Pelet Biomassa untuk Pembangkit Listrik. BSN: Jakarta.
- BSN [Badan Standar Nasional]. 2021. SNI 1683:2021 Briket Arang Kayu. BSN: Jakarta
- Demirbas A. 2001. Relationship between lignin content and heating values of biomass. *Engery Corserv Manag*. 42:183-188
- El-Sayed SA, Khass TM, Mostafa ME. 2024. Thermal degradation behaviour and chemical kinetic characteristics of biomass pyrolysis using TG/DTG/DTA techniques. *Biomass Convers Bioref*. 14:17779–1780.
- Fatrawana A, Setiawan D, Novriyanti E, Nawawi DS, Irmayanti L, Nurhikmah. 2021. Sifat kimia dan proksimat kayu tekan Pinus merkusii. *J Sci Appli Technol*. 5(1): 231-235.
- Fuwape JA, Akindele SO. 1997. Biomass yield and energy value of some fast-growing multy purpose trees in Nigeria. *Biomass Energy*. 12:101-106.
- Hu M, Chen Z, Wang S, Guo D, Ma C, Zhou Y, Chen J, Laghari M, Fazal S, Xiao B, Zhang B, Ma S. 2016. Thermogravimetric kinet-ics of lignocellulosic biomass slow pyrolysis using distributed activation energy model, Fraser-Suzuki deconvolution, and iso-conversional method. *Energy Convers Manag*. 118:1–11.
- Jimenez CRS, Lapuz ARP, Bondad AADM, Marqueses CR, Zamora MCB. 2025. Bioenergy potential of Kauayan tinik (*Bambusa spinosa* Roxb.) and Kauayan kiling (*Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C.Wendl): Culm height section analysis. *Advan Bamboo Sci*. 12: 100177.
- Mauladdini R, Nawawi DS, Syafii W. 2022. Pengaruh zat ekstraktif kayu terhadap nilai kalor. *J Penel Hasil Hutan*. 40(2): 125-134
- Mc Kendry P. 2002. Energy production from biomass (Part 1): overview of biomass. *Bioresource Technol*. 83(1):37–46.
- Nawawi DS, Carolina A, Saskia T, Darmawan D, Gusvina SL, Wistara NY, Sari RK, Syafii W. 2018. Karakteristik kimia biomassa untuk energi. *J Ilmu Teknol Kayu Tropis*. 6(1):44-51.

- Park SH, Jang J, Wistara N, Febrianto F, Lee M. 2019. Fuel properties of Indonesian bamboo carbonized at different temperatures. *Bioresources* 14(2):4224-4235.
- Pratama A, Nawawi DS. 2025. Karakteristik kulit Gemor sebagai dasar untuk pemanfaatannya. *J ForestrIndo*. 2(1): 192-201.
- Rajvanshi AK, Goswami DY. 1986. *Biomass Gasification, Alternative Energy in Agriculture*. Vol. II. CRC Press, India Phalton.
- Rusch F, Neto AR, Lucio MD, Hillig E. 2021. Energy properties of bamboo biomass and mate co-products. *SN Applied Sci*. 3:602.
- Rusch F, Lúcio DM, de Campos RF. 2020. Potential of bamboo for energy purposes. *Research Society Develop*. 9(7): e40973537.
- Salim R, Cahyana BT, Prabawa IDGP, Hamdi S,. 2019. Potensi abambu untuk pemanfaatan sebagai bahan bakar arang dengan metode pengarangan retort tunggu drum. *J Ris Teknol Indust*. 13(2): 230-241.
- Stahl R, Henrich E, Gehrman H, Vodegel S, Koch M. 2004. Definition of Standard Biomass. Karlsruhe (DE): Forschungszentrum Karlshure.
- Widjaja EA, Karsono. 2005. Keanekaragaman Bambu di Pulau Sumba. *BIODIVERSITAS*. 6(2): 95-99.