

Academia Open

Vol. 10 No. 2 (2025): December

DOI: 10.21070/acopen.10.2025.12889

Table Of Contents

Journal Cover	1
Author[s] Statement.....	3
Editorial Team	4
Article information	5
Check this article update (crossmark)	5
Check this article impact	5
Cite this article.....	5
Title page.....	6
Article Title	6
Author information	6
Abstract	6
Article content	8

Originality Statement

The author[s] declare that this article is their own work and to the best of their knowledge it contains no materials previously published or written by another person, or substantial proportions of material which have been accepted for the published of any other published materials, except where due acknowledgement is made in the article. Any contribution made to the research by others, with whom author[s] have work, is explicitly acknowledged in the article.

Conflict of Interest Statement

The author[s] declare that this article was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright Statement

Copyright © Author(s). This article is published under the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) licence. Anyone may reproduce, distribute, translate and create derivative works of this article (for both commercial and non-commercial purposes), subject to full attribution to the original publication and authors. The full terms of this licence may be seen at <http://creativecommons.org/licences/by/4.0/legalcode>

Academia Open

Vol. 10 No. 2 (2025): December
DOI: 10.21070/acopen.10.2025.12889

EDITORIAL TEAM

Editor in Chief

Mochammad Tanzil Multazam, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Managing Editor

Bobur Sobirov, Samarkand Institute of Economics and Service, Uzbekistan

Editors

Fika Megawati, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Mahardika Darmawan Kusuma Wardana, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Wiwit Wahyu Wijayanti, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Farkhod Abdurakhmonov, Silk Road International Tourism University, Uzbekistan

Dr. Hindarto, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Evi Rinata, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

M Faisal Amir, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Dr. Hana Catur Wahyuni, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Complete list of editorial team ([link](#))

Complete list of indexing services for this journal ([link](#))

How to submit to this journal ([link](#))

Academia Open

Vol. 10 No. 2 (2025): December
DOI: 10.21070/acopen.10.2025.12889

Article information

Check this article update (crossmark)

Check this article impact ^(*)

Save this article to Mendeley

^(*) Time for indexing process is various, depends on indexing database platform

Analysis of Biopellets from a Mixture of Coffee Grounds and Sawdust as an Alternative Energy Source: Analisis Biopellet Dari Campuran Ampas Kopi dan Serbuk Gergaji Sebagai Sumber Energi Alternatif

Muhamad Farad Sutarya, 2110311060@mahasiswa.upnvj.ac.id, (1)

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Indonesia

Damora Rhakasywi, rhakasywi@upnvj.ac.id, (0)

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Indonesia

Fahrudin Fahrudin, fahrudin@upnvj.ac.id, (0)

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jakarta, Indonesia

^(*) Corresponding author

Abstract

Background: Indonesia's growing energy demand and dependence on fossil fuels necessitate renewable alternatives such as biomass-based biopellets. **Specific Background:** Coffee grounds and sawdust are abundant organic wastes with complementary thermal and mechanical properties suitable for pelletization. **Knowledge Gap:** However, limited studies have clarified how varying proportions of these materials influence biopellet quality relative to SNI 8021:2020 standards. **Aims:** This study evaluates the effects of four ratios of coffee grounds–sawdust mixtures (80:20, 70:30, 60:40, 50:50) on physical and proximate characteristics of biopellets. **Results:** One-way ANOVA and Tukey HSD ($p < 0.05$) showed significant differences across all parameters. Formulations A and B produced the highest calorific values (4674–4689 cal/g) meeting SNI requirements, while B achieved the highest density (560.34 kg/m³). Moisture and ash contents also met standards; however, density and fixed carbon fell below SNI thresholds due to the absence of torrefaction. **Novelty:** This study demonstrates that optimizing coffee grounds–sawdust mixtures alone cannot meet all quality indicators without thermal pretreatment. **Implications:** Incorporating torrefaction and enhanced pressing conditions is essential to improve energy density and combustion stability, supporting the development of high-quality waste-based biofuel in Indonesia.

Highlights:

- The optimal calorific value is achieved with higher proportions of coffee grounds (80:20 and 70:30).
- Density and fixed carbon remain below SNI standards due to the absence of torrefaction.
- Thermal pretreatment is essential to improve combustion stability and overall pellet quality.

Keywords: Biopellet, Coffee Grounds, Sawdust, Biomass Energy, Torrefaction

Pendahuluan

Kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan perkembangan industri. Konsumsi energi nasional tumbuh rata-rata sebesar 1,3% per tahun selama 2011–2020, dengan dominasi bahan bakar fosil sebagai sumber utama [1], [2]. Ketergantungan tinggi terhadap energi fosil berpotensi menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti peningkatan emisi gas rumah kaca, pencemaran udara, serta percepatan perubahan iklim [3]. Oleh karena itu, pengembangan energi baru dan terbarukan (EBT) menjadi langkah strategis untuk mewujudkan sistem energi berkelanjutan dan ramah lingkungan [4], [5].

Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial dikembangkan adalah biomassa, yaitu bahan organik yang berasal dari sisa makhluk hidup yang dapat dikonversi menjadi energi melalui proses pembakaran, pirolisis, atau gasifikasi [6], [7]. Pemanfaatan biomassa dalam bentuk biopellet menjadi solusi menarik karena memiliki densitas dan nilai kalor tinggi, efisiensi pembakaran yang lebih baik, serta kemudahan dalam penyimpanan dan transportasi [8]. Selain itu, biopellet juga berperan dalam pengurangan limbah organik, sehingga mendukung penerapan ekonomi sirkular dan pengurangan emisi karbon.

Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan biopellet berbasis limbah karena ketersediaan bahan baku yang melimpah, seperti ampas kopi dan serbuk gergaji. Indonesia merupakan salah satu produsen kopi terbesar di dunia, dengan luas lahan mencapai 1,27 juta hektar dan peningkatan produksi sebesar 2,4% pada 2022–2023 [9], [10]. Sementara itu, industri pengolahan kayu menghasilkan limbah serbuk gergaji sekitar 14,3% dari total produksi kayu gergajian nasional, yang pada tahun 2023 mencapai 2,77 juta m³[11]. Kedua limbah ini berpotensi besar sebagai bahan baku biopellet karena kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin yang tinggi [12], [13], [14].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa ampas kopi memiliki nilai kalor tinggi akibat kandungan karbon dan minyaknya [15], [16], namun biopellet berbahan tunggal ampas kopi cenderung memiliki kekuatan mekanik rendah serta kadar air tinggi [17], [18]. Sebaliknya, serbuk gergaji dapat berperan sebagai pengikat alami yang meningkatkan kekompakan dan kekuatan tekan pellet, meskipun nilai kalornya relatif lebih rendah [14], [19]. Kombinasi keduanya berpotensi menghasilkan biopellet dengan sifat fisik dan termal yang lebih seimbang, baik dari segi kepadatan, nilai kalor, maupun stabilitas pembakaran [20], [21].

Evaluasi kualitas biopellet umumnya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 8021:2020, yang mencakup parameter kadar air, kadar abu, zat menguap, karbon tetap, densitas, dan nilai kalor [22]. Parameter tersebut penting dalam menentukan efisiensi pembakaran, daya tahan mekanik, serta kelayakan biopellet sebagai bahan bakar alternatif. Oleh karena itu, analisis pengaruh variasi komposisi bahan terhadap parameter-parameter tersebut diperlukan untuk memperoleh formulasi campuran yang optimal.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi perbandingan ampas kopi dan serbuk gergaji terhadap karakteristik biopellet yang dihasilkan. Metode yang digunakan adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan empat variasi perbandingan, yaitu 80:20, 70:30, 60:40, dan 50:50. Parameter yang diuji meliputi kadar air, kadar abu, zat menguap, karbon tetap, densitas, dan nilai kalor. Hasilnya dibandingkan dengan standar mutu SNI 8021:2020 untuk menilai kualitas biopellet yang dihasilkan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan energi terbarukan berbasis biomassa dengan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan bakar padat yang efisien dan ramah lingkungan. Selain itu, hasilnya diharapkan mendukung penerapan konsep *waste-to-energy* serta memberikan dasar ilmiah bagi pengembangan industri bioenergi skala kecil dan menengah di Indonesia.

Metode

A. Alat dan Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah limbah ampas kopi dan limbah serbuk gergaji. Tepung kanji (tapioka) digunakan sebagai perekat. Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi oven pengering, grinder, ayakan 20 mesh, timbangan analitik, jangka sorong, alat pencetak biopellet, bomb calorimeter untuk pengujian nilai kalor, tanur untuk pengujian kadar abu dan zat menguap, serta desikator.

B. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu variasi komposisi campuran ampas kopi dan serbuk gergaji. Terdapat empat taraf perlakuan yang diuji, seperti disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi Perlakuan

Perlakuan	Komposisi (%)	
	Ampas Kopi	Serbuk Gergaji
A	80	20
B	70	30
C	60	40
D	50	50

C. Prosedur Pembuatan Pelet

Proses pembuatan biopelet diawali dengan persiapan bahan baku, yaitu ampas kopi dan serbuk gergaji yang dikeringkan di bawah sinar matahari selama tiga hari hingga mencapai kadar air optimal. Selanjutnya dilakukan penghalusan dan pengayakan menggunakan grinder dan ayakan 20 mesh untuk memperoleh ukuran partikel seragam [13]. Bahan kemudian dicampur sesuai variasi perbandingan yang ditentukan, dengan penambahan perekat tepung kanji sebanyak 2% dari total massa bahan, yang dilarutkan dalam air dengan perbandingan 1:6 [6] [21]. Campuran tersebut dicetak menjadi biopelet menggunakan cetakan manual yang telah dimodifikasi dan ditekan dengan tekanan 50-200 MPa [23], kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama dua jam [6]. Biopelet yang dihasilkan selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik fisik dan proksimat, meliputi kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, karbon tetap, densitas, dan nilai kalor. Hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis dan dibandingkan dengan standar mutu biopelet berdasarkan SNI 8021:2020.

D. Metode Pengujian

Pengujian dilakukan di Laboratorium Jasa Uji Fakultas Teknik Industri Pertanian (LJU FTIP) Universitas Padjadjaran. Pengujian karakteristik biopelet meliputi densitas, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, karbon tetap, dan nilai kalor.

Densitas ditentukan berdasarkan perbandingan antara massa dan volume pelet menggunakan persamaan (1), dengan volume pelet berbentuk silinder dihitung melalui persamaan (2) [24].

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4} \quad (2)$$

Kadar air dianalisis menggunakan metode oven sesuai SNI 01-2891:1992, yaitu dengan mengeringkan sampel pada suhu 105 °C hingga mencapai berat konstan, dan dihitung dengan persamaan (3) [25].

$$\text{Kadar air}(\%) = \frac{m_i - m_d}{m_i} \times 100 \quad (3)$$

Kadar abu ditentukan menggunakan metode yang sama (SNI 01-2891:1992) dengan memanaskan sampel kering dalam tanur pada suhu 550 °C selama 3 jam hingga diperoleh residu abu. kemudian dihitung melalui persamaan (4) [25].

$$\text{Kadar abu}(\%) = \frac{m_{\text{abu}}}{m_d} \times 100 \quad (4)$$

Kadar zat menguap diuji berdasarkan SNI 1683:2021 dengan memanaskan sampel kering dalam furnace tertutup pada suhu 950 °C selama 7 menit, dan dihitung menggunakan persamaan (5) [25].

$$\text{Zat menguap}(\%) = \frac{m_d - m_{\text{residu}}}{m_d} \times 100 \quad (5)$$

Karbon tetap diperoleh secara tidak langsung melalui persamaan (6) [24].

$$\text{Karbon tetap}(\%) = 100 - (\text{Kadar air} + \text{Kadar abu} + \text{Zat menguap}) \quad (6)$$

Sedangkan nilai kalor (*Higher Heating Value*) ditentukan menggunakan bomb kalorimeter, dengan sampel kering ± 1 g dibakar dalam oksigen bertekanan, dan hasilnya dinyatakan dalam MJ/kg [7]. Prosedur ini diadaptasi dari penelitian terdahulu oleh Woo et al. [17], Manrique et al. [26], dan Cahyani et al. [12] yang telah melakukan pengujian serupa pada biopelet berbasis limbah kopi dan biomassa kayu.

E. Analisis Data

Data hasil uji dianalisis menggunakan ANOVA satu arah untuk melihat pengaruh perlakuan terhadap setiap parameter. Apabila terdapat perbedaan nyata ($p < 0,05$), dilanjutkan dengan uji Tukey HSD. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel 2021.

Hasil dan Pembahasan

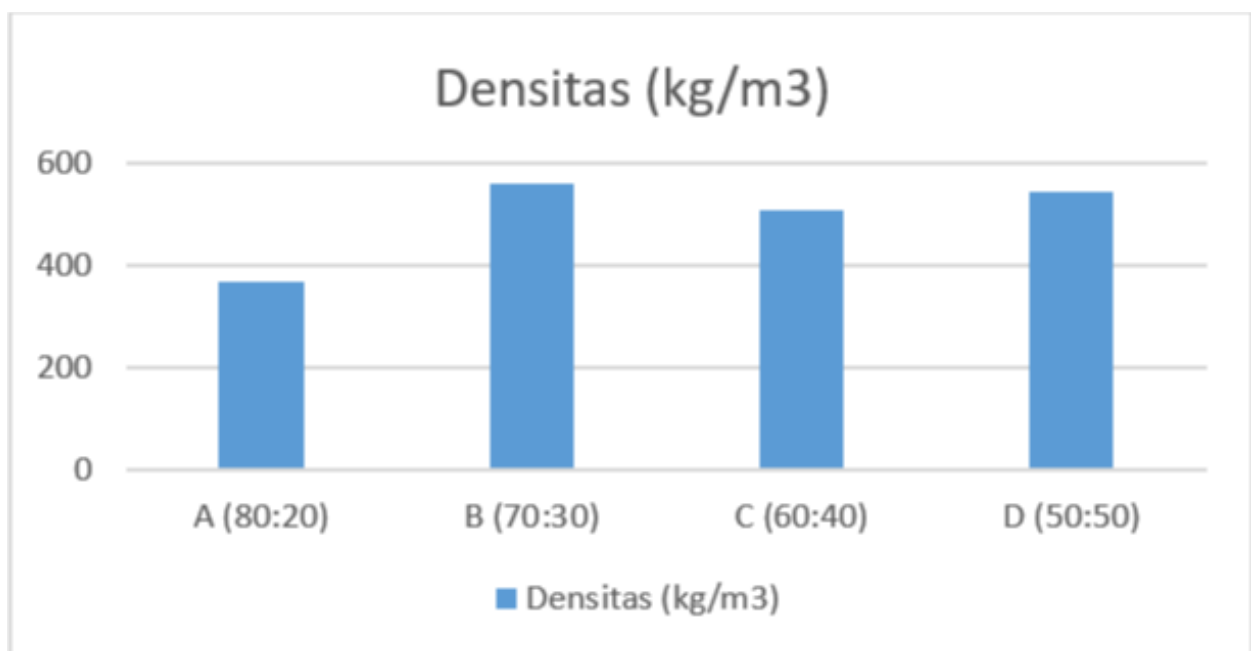
Hasil uji statistik ANOVA menunjukkan bahwa variasi perbandingan ampas kopi dan serbuk gergaji memberikan pengaruh yang signifikan ($p < 0,05$) terhadap semua parameter kualitas biopellet yang diuji, yaitu nilai kalor, densitas, kadar air, kadar abu, kadar zat menguap, dan karbon tetap. Rata-rata hasil pengujian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. nilai rata-rata dari setiap parameter pengujian

Parameter	A (80:20)	B (70:30)	C (60:40)	D (50:50)	F (ANOVA)	p-value
Densitas (kg/m ³)	369,07	560,34	507,81	546,57	21,86	<0,001
Nilai Kalor (kal/g)	4674	4689	4625,5	4613,5	33,47	0,0027
Kadar Air (%)	5,39	9,38	6,56	6,23	928,31	<0,001
Kadar Abu (%)	1,66	1,51	1,50	1,38	121,04	<0,001
Zat Menguap (%)	88,47	87,12	87,46	87,71	274,06	<0,001
Karbon Tetap (%)	4,49	1,99	4,48	4,69	1384,18	<0,001

Nilai F dan p-value dari uji ANOVA memperlihatkan bahwa semua parameter berbeda signifikan antarperlakuan. Hasil uji lanjut Tukey HSD menunjukkan pasangan-pasangan perlakuan yang berbeda nyata pada taraf signifikansi 95%, yang dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan berikut.

1. Densitas

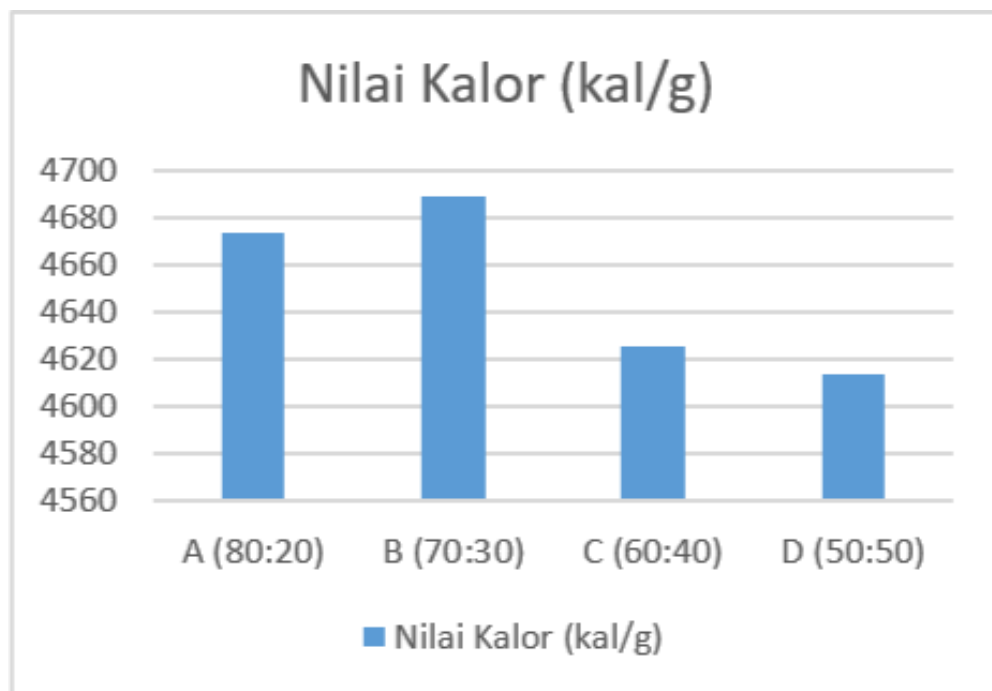


Gambar 1. Rata-Rata Densitas Biopellet

Gambar 1 memperlihatkan grafik rata-rata densitas biopellet pada berbagai komposisi bahan. Terlihat bahwa densitas meningkat seiring dengan bertambahnya proporsi serbuk gergaji dalam campuran. Perlakuan A (80:20) menghasilkan densitas terendah (369,07 kg/m³), sedangkan B (70:30) menunjukkan nilai tertinggi (560,34 kg/m³). Uji Tukey HSD menunjukkan bahwa A berbeda signifikan ($p < 0,05$) terhadap B, C, dan D, sementara perbedaan antar B, C, dan D tidak signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan fraksi serbuk gergaji hingga 30% sudah cukup meningkatkan kekompakan pelet secara nyata karena kandungan lignin kayu bertindak sebagai perekat alami selama proses pengepresan [12] [14].

Namun, meskipun terjadi peningkatan, semua perlakuan masih memiliki densitas di bawah standar SNI 8021:2020 (≥ 600 kg/m³), sehingga perlu optimasi tekanan pengepresan dan kontrol kadar air bahan untuk mencapai kualitas padatan yang memenuhi standar.

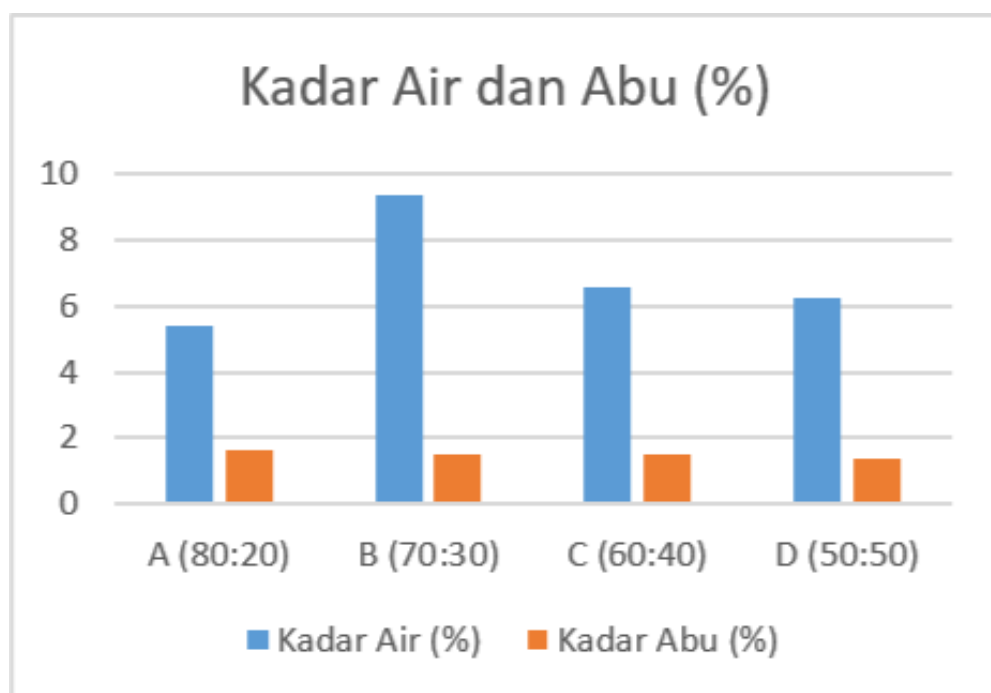
2. Nilai Kalor



Gambar 2. Rata-Rata Nilai Kalor Biopellet

Gambar 2 menampilkan rata-rata nilai kalor pada tiap perlakuan. Perlakuan A dan B memberikan nilai tertinggi (4674–4689 kal/g), sedangkan C dan D menunjukkan penurunan nilai kalor hingga 4625–4613 kal/g. Berdasarkan uji Tukey HSD, perbedaan signifikan ditemukan antara kelompok dengan fraksi ampas kopi tinggi (A dan B) dibanding kelompok dengan fraksi kayu lebih besar (C dan D), sedangkan A dan B tidak berbeda nyata. Kandungan minyak dan senyawa organik kompleks dalam ampas kopi meningkatkan energi pembakaran per satuan massa [16] [17]. Semua perlakuan memenuhi standar mutu pertama SNI 8021:2020 (≥ 4300 kal/g), sehingga secara energi pelet ini sangat potensial digunakan sebagai bahan bakar padat alternatif.

3. Kadar Air dan Kadar Abu

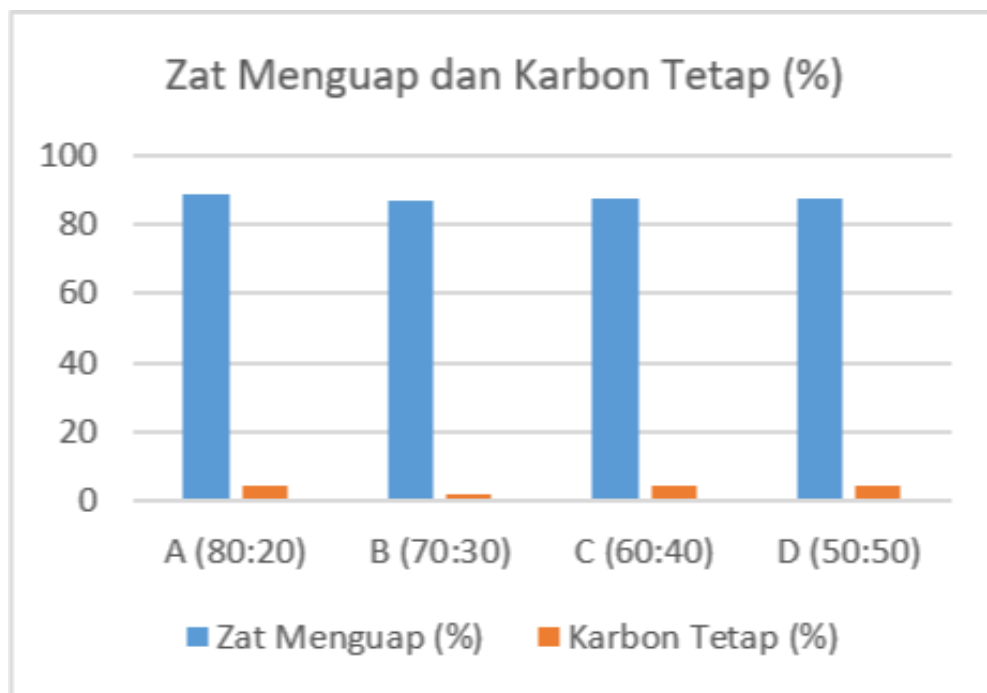


Gambar 3. Rata-Rata Kadar Air Dan Abu Biopellet

Gambar 3 menunjukkan kadar air dan kadar abu rata-rata biopellet. Hasilnya, B memiliki kadar air tertinggi (9,38%), berbeda signifikan dengan ketiga perlakuan lainnya ($p < 0,05$), sementara A memiliki kadar air terendah (5,39%). Tingginya kadar air pada B kemungkinan disebabkan oleh sifat higroskopis serbuk gergaji yang mampu menyerap kelembapan lebih banyak. Sebaliknya, dominasi ampas kopi pada A menyebabkan kadar air lebih rendah karena partikel lebih rapat dan cenderung hidrofobik.

Sementara itu, kadar abu pada seluruh perlakuan berkisar antara 1,38–1,66% dan semuanya memenuhi batas mutu SNI ($\leq 2\%$). Uji Tukey HSD menunjukkan perbedaan signifikan antara A dan D, dengan A menghasilkan kadar abu sedikit lebih tinggi. Kandungan abu yang rendah menandakan sedikitnya mineral anorganik pada bahan baku, sehingga menghasilkan residu pembakaran yang minimal [20].

4. Kadar Zat Menguap dan Karbon Tetap



Gambar 4. Rata-Rata Zat Menguap Dan Karbon Tetap Biopellet

Gambar 4 memperlihatkan hasil rata-rata kadar zat menguap (*volatile matter*) dan karbon tetap (*fixed carbon*). Semua perlakuan memiliki kadar zat menguap tinggi (87–88%) dan karbon tetap rendah (1,9–4,7%). Hasil uji Tukey HSD menunjukkan bahwa B berbeda signifikan dengan seluruh perlakuan lainnya untuk parameter karbon tetap, dengan nilai terendah (1,99%), sedangkan A berbeda signifikan terhadap B untuk kadar zat menguap.

Nilai *volatile matter* yang tinggi dan *fixed carbon* yang rendah menandakan proses dekomposisi termal belum sempurna. Hal ini disebabkan oleh tidak dilakukannya proses torrefaksi sebelum pencetakan. Proses yang hanya melibatkan pengeringan alami di bawah sinar matahari selama ± 3 hari tidak cukup untuk menguraikan senyawa hemiselulosa dan selulosa yang mudah menguap. Akibatnya, kandungan zat mudah terbakar meningkat, sementara karbon tetap tidak terbentuk optimal. Kondisi ini menyebabkan biopellet mudah menyala, namun menghasilkan waktu pembakaran lebih singkat dan kestabilan panas yang rendah. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Hafiz dan Wakte [15] serta Woo et al. [17] yang menyatakan bahwa torrefaksi pada suhu 200–300°C dapat menurunkan kadar zat menguap dan meningkatkan *fixed carbon* serta densitas energi.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi komposisi ampas kopi dan serbuk gergaji berpengaruh nyata terhadap karakteristik fisik dan proksimat biopellet ($p < 0,05$). Perlakuan P1 (80:20) memberikan hasil terbaik dengan nilai kalor tinggi (4674 kJ/g), kadar air rendah (5,39%), dan kadar abu 1,66%. Nilai *volatile matter* yang tinggi serta *fixed carbon* yang rendah pada semua perlakuan terjadi karena tidak dilakukan proses torrefaksi, melainkan hanya pengeringan alami di bawah sinar matahari selama ± 3 hari. Proses tersebut belum mampu menurunkan kadar zat mudah menguap dan membentuk karbon tetap secara optimal, sehingga biopellet yang dihasilkan cenderung mudah menyala namun memiliki kestabilan pembakaran yang rendah.

Meskipun nilai kalor dan kadar abu seluruh perlakuan telah memenuhi standar SNI 8021:2020, densitas dan karbon tetap masih berada di bawah batas standar. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan proses torrefaksi pada suhu 200–300°C sebelum pencetakan, serta meningkatkan tekanan pengepresan dan mengontrol kadar air bahan baku guna meningkatkan densitas dan kualitas pembakaran. Penelitian lanjutan juga perlu mencakup uji mekanik dan uji emisi pembakaran, sehingga

biopelet campuran ampas kopi dan serbuk gergaji dapat dikembangkan menjadi bahan bakar biomassa yang lebih efisien dan sesuai standar mutu nasional.

References

1. KESDM, Indonesia Energy Outlook 2019. Jakarta, Indonesia: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2019.
2. A. A. Solikah and Bramastia, "Systematic Literature Review: Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia," *Jurnal Energi Baru Terbarukan*, vol. 5, pp. 27–43, 2024.
3. A. Sugiyono, "Outlook Energi Indonesia 2015–2035: Prospek Energi Baru Terbarukan," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 12, pp. 87–96, 2016.
4. A. Yansen, D. I. Satya, T. D. L. Doaly, and D. M. Situmorang, "Limbah Ampas Kopi sebagai Alternatif Bahan Bakar Industri untuk Menggantikan Penggunaan Batubara," in *Proc. Seminar Nasional TREN D*, 2021, pp. 68–81.
5. K. Kaygusuz, "Renewable Energy: Power for a Sustainable Future," *Energy Exploration & Exploitation*, pp. 603–626, 2001.
6. A. Lukmanto and G. Bonowati, "Karakteristik Biopellet dari Limbah Biomassa Tanaman dengan Perak Tepung," in *Proc. Seminar Nasional Pembangunan dan Pendidikan Vokasi Pertanian*, 2024, pp. 713–727.
7. F. G. Al Ghifari and S. S. Harsono, "Analisis Pemberian Variasi Konsentrasi Molases terhadap Kualitas Biopellet Arang Tempurung Kelapa," *Agrotechnology Innovation*, vol. 4, pp. 22–29, 2021.
8. V. A. Surya and D. V. Wijanarko, "Pengaruh Perak Tapioka terhadap Kualitas Biopellet dari Campuran Tongkol Jagung, Ampas Tebu, dan Ampas Kopi," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 12, 2024.
9. World Health Organization, "Preterm Birth," WHO Fact Sheet.
10. International Coffee Organization, *Coffee Report and Outlook*. London, U.K.: ICO, 2023.
11. Badan Pusat Statistik, *Statistik Produksi Kehutanan 2023*, vol. 12. Jakarta, Indonesia: BPS, 2024.
12. N. Cahyani, A. D. Yudianti, Suhasman, K. T. P. Pangestu, and G. Pari, "Characteristics of Bio Pellets from Spent Coffee Grounds and Pinewood Charcoal Based on Composition," *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, vol. 51, no. 1, pp. 23–37, 2023.
13. X. J. Lee et al., "Solid Biofuel Production from Spent Coffee Ground Wastes: Process Optimisation, Characterisation and Kinetic Studies," *Fuel*, 2021.
14. Istaniah, A. Ma'ruf, R. Rachmat, and T. W. Widodo, "Karakteristik Biopellet dari Serbuk Kayu dan Sekam Padi," *Jurnal Agroindustri Halal*, vol. 2, 2024.
15. M. I. Hafiz and E. A. Pane, "Analisis Energi Pelet Biomassa Berbahan Baku Ampas Kopi dengan Perak Bubur Kertas," *Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, vol. 14, pp. 139–145, 2024.
16. D. R. Vardon et al., "Complete Utilization of Spent Coffee Grounds to Produce Biodiesel, Bio-Oil, and Biochar," *Sustainable Chemistry & Engineering*, 2013.
17. D.-G. Woo, S. H. Kim, and T. H. Kim, "Solid Fuel Characteristics of Pellets Comprising Spent Coffee Grounds and Wood Powder," *Energies*, 2021.
18. S. B. Kang, H. Y. Oh, J. J. Kim, and K. S. Choi, "Characteristics of Spent Coffee Ground as a Fuel and Combustion Test in a Small Boiler (6.5 kW)," *Renewable Energy*, 2017.
19. D. Kurniasih, K. E. Sari, and W. P. Wijayanti, "Kajian Peluang Alternatif Pengolahan Limbah Serbuk Gergaji di Sentra Industri Mebel Kelurahan Bukir," *Planning, Urban, Regional and Environment Journal*, vol. 10, 2021.
20. R. C. Garcia, G. Galan, and M. Martin, "Multiscale Analysis for the Valorization of Biomass via Pellets Production Towards Energy Security," *Journal of Cleaner Production*, 2024.
21. M. Muazzinah, M. Meriatna, S. Bahri, N. ZA, and I. Ishak, "Pemanfaatan Limbah Ampas Kopi Menjadi Biomassa Pelet (Biopellet) sebagai Sumber Energi Terbarukan," *Chemical Engineering Journal Storage*, vol. 2, no. 3, pp. 85–94, 2022.
22. Badan Standarisasi Nasional, *SNI 8021:2020 Pelet Kayu*. Jakarta, Indonesia: BSN, 2020.
23. M. A. Zamiri, M. N. Dafchahi, M. Ebadian, and B. Acharya, "Optimizing Production Conditions of Innovative Bio-Pellets Developed from Flax Straw," *Industrial Crops and Products*, 2024.
24. N. P. Asrianti, Fahrudin, D. Rhakasywi, and B. Martana, "Analysis of Calorific Value of Biopellet Diameter Variations Through Proximate Test," *Journal La Multiapp*, vol. 5, pp. 448–500, 2024.
25. N. Sukarta and P. S. Ayuni, "Analisis Proksimat dan Nilai Kalor pada Pellet Biosolid yang Dikombinasikan dengan Biomassa Limbah Bambu," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 5, no. 1, pp. 728–735, 2016.
26. R. Manrique, D. Vásquez, C. Ceballos, F. Chenje, and A. Amell, "Evaluation of the Energy Density for Burning Disaggregated and Pelletized Coffee Husks," *ACS Omega*, vol. 10, pp. 2957–2963, 2019.