ENERGI BIOMASSA SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN: KARAKTERISTIK *ORGANIC SOLID WASTE BIOPELLET* (OSWBp) DARI LIMBAH PADAT ORGANIK

Biomass Energy as a Renewable Energy Source: Characteristics of Organic Solid Waste Biopellets (OSWBp) from Organic Solid Waste

Hardiansyah Tambunan, Dayun Ifanda, Sundari Marsudi, Hanna Tresia Silalahi, M. Rizki Rahmadan, dan Yoram Lefrand Halawa
Program Studi Manajemen Hutan, Universitas Satya Terra Bhinneka

ABSTRACT. *Organic solid waste, which is abundant and easily available, has great potential to be used as raw material for biomass energy. This study aims to produce a source of biomass energy in the form of biopellets from a mixture of organic solid waste consisting of vegetable waste, durian peel, and sawdust. The study was conducted following systematic stages through preparation, pelletization, biopellet characterization, and data analysis. Next, to evaluate the effect of raw material type and mixing ratio with sawdust on the properties of biopellets, statistical analysis was performed using a Factorial Completely Randomized Design (FCRD). The results showed that the moisture content, density, ash content, and calorific value of the biopellets met the ISO 17225-6:2021 class B standard. Mixing vegetable and durian peel raw materials with wood powder can produce high-quality biopellets that meet international standards. Statistical analysis shows that the interaction between raw material types and mixing ratios with wood powder has a significant effect on the physical, mechanical, and chemical properties of biopellets. The results of this study indicate that organic solid waste has the potential to be developed as an alternative biopellet raw material that meets international quality standards and has the opportunity to be a sustainable renewable energy source.*

Keywords: *waste, organic, biomass, biopellets, renewable energy*

ABSTRAK. *Limbah padat organik dengan jumlah yang sangat melimpah dan mudah didapatkan memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku energi biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sumber energi biomassa berupa biopelet yang berasal dari campuran limbah padat organik berupa limbah sayur, kulit durian, dan serbuk kayu. Penelitian dilaksanakan mengikuti tahapan yang sistematis melalui persiapan, peletisasi, karakterisasi biopelet, dan analisis data. Selanjutnya, untuk mengevaluasi pengaruh jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu terhadap sifat-sifat biopelet dilakukan analisis statistik menggunakan Rancangan Acak Lengkap Faktorial/RALF. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air, kerapatan, kadar abu, dan nilai kalor biopelet telah memenuhi standar ISO 17225-6:2021 kelas B. Pencampuran jenis bahan baku sayur dan kulit durian dengan serbuk kayu dapat menghasilkan sifat-sifat biopelet yang bermutu sesuai standar. Dari hasil analisis statistik, diketahui bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap sifat fisis, mekanis, dan kimia biopelet. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah padat organik berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku biopelet alternatif yang memenuhi standar mutu internasional dan berpeluang sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan.*

Kata kunci: *limbah, organik, biomassa, biopelet, energi terbarukan*

Penulis untuk korespondensi, surel : hardiansyahtambunan@satyaterrabhinneka.ac.id

PENDAHULUAN

Energi sangat dibutuhkan dalam setiap aktivitas manusia, terutama dalam kegiatan ekonomi, rumah tangga, industri, bisnis, dan transportasi. Sebagian besar pasokan energi untuk menjalankan aktivitas tersebut berasal dari bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan (A. Roni et al., 2024; Tambunan et al., 2023). Sementara itu, kebutuhan energi dari bahan bakar fosil saat ini terus meningkat, sedangkan cadangan yang tersedia semakin berkurang. Di sisi lain, penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi menghasilkan emisi gas rumah kaca, sehingga menyebabkan pemanasan global (Maulida and Masjud, 2024). Oleh karena itu, perlu dilakukan

upaya untuk memanfaatkan bahan bakar alternatif yang lebih murah dan tersedia. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah energi biomassa yang jumlahnya sangat melimpah dan mudah diperoleh serta dapat diperbarui dengan cepat (Nawawi et al., 2018).

Limbah padat organik, seperti sisa makanan, limbah rumah tangga, limbah pertanian, dan limbah pasar, merupakan sumber biomassa yang melimpah dan sering kali menjadi masalah lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan baik (Oyelaran et al., 2018). Pengelolaan limbah padat organik secara optimal dapat dilakukan dengan memanfaatkannya sebagai bahan baku energi. Limbah sayur singkong dan kulit durian berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku produk penghasil energi. Kedua limbah ini merupakan masalah besar di Indonesia (limbah musiman untuk durian dan limbah industri tapioka/sayur untuk singkong). Sementara itu, komponen kimia yang terkandung di dalamnya juga menjadikan limbah tersebut berpotensi besar sebagai bahan baku energi terbarukan. Secara proporsional, kulit durian mengandung lignoselulosa yang terdiri dari 50–60% selulosa, 30,7% hemiselulosa, 13,6% lignin, dan 5% pati. Daun singkong terdiri dari 8,4–22,1% selulosa, 9,1-16% hemiselulosa, dan lignin 0,9–8,4% (Latif and Müller, 2015; Tambun et al., 2024) Pembuatan biopelet merupakan salah satu cara penanganan limbah padat organik. Konversi limbah padat organik menjadi biopelet memberikan peluang untuk meningkatkan nilai tambah limbah tersebut (Rabier et al., 2006). Biomassa dari limbah padat organik diubah menjadi bahan bakar padat seperti biopelet untuk memudahkan penanganan, transportasi, dan penyimpanan (Tauro et al., 2018).

Permintaan biopelet dari negara-negara sub tropis khususnya Eropa dan Kanada serta negara sub tropis lainnya sangat tinggi karena tingkat kebutuhannya besar untuk bahan bakar dan sejalan dengan kebijakan yang dikeluarkan terkait peralihan ke penggunaan bahan bakar yang ramah lingkungan (bisa diperbaharui) seperti biopelet (Sidabutar, 2018). Biopelet merupakan cara cepat dan mudah untuk menghasilkan energi biomassa yang efisien dan terbarukan. Karena pertumbuhan tanaman merupakan hasil dari proses fotosintesis, yang membutuhkan CO_2, biopelet memberikan manfaat dalam proses pembakaran, yang merupakan bagian dari konsep karbon netral (Putra et al., 2024).

Pada penelitian ini akan diteliti karakteristik dari biopelet berbahan baku limbah padat organik (*organic solid waste*) sebagai energi biomassa sumber energi terbarukan yang disebut dengan biopelet OSWBp. Karakteristik yang diteliti meliputi sifat fisis, mekanis, kimia, dan termal. Urgensi penelitian ini adalah memberikan nilai tambah terhadap limbah padat organik menjadi produk penghasil energi yang berupa biopelet. Tidak hanya berkontribusi terhadap diversifikasi energi tetapi juga mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB). Mendukung TPB 7 (Energi Bersih dan Terjangkau) melalui pengembangan sumber energi terbarukan, TPB 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab) dengan pengelolaan limbah berkelanjutan, dan TPB 13 (Aksi terhadap Perubahan Iklim) melalui pengurangan emisi karbon.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Polimer, Fakultas Teknik dan Laboratorium Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan Universitas Sumatera Utara. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat organik berupa sayur daun singkong, kulit durian, dan serbuk kayu mahoni, serta perekat pati dari tepung tapioka.

Pengumpulan dan Persiapan Bahan Baku

Limbah domestik berupa sisa sayur, kulit durian, dan serbuk kayu dikumpulkan. Setelah itu, dilakukan pengeringan awal untuk mengurangi kadar air sebelum proses lebih lanjut. Kemudian digiling hingga menjadi serbuk menggunakan hammer mill dan disaring menggunakan ayaman ukuran 60 mesh. Serbuk yang digunakan sebagai bahan baku biopelet adalah serbuk yang lolos ayakan 60 mesh, selanjutnya serbuk tersebut dikeringkan di bawah sinar matahari dan dioven hingga diperoleh kadar air <10%. Proses ini bertujuan untuk memperoleh bahan baku dengan ukuran partikel seragam agar memudahkan proses peletisasi. Proses selanjutnya adalah pembuatan perekat. Pada penelitian ini, perekat yang digunakan adalah perekat pati dari tepung tapioka. Dibuat dengan mencampur pati dan air dengan perbandingan 1 : 10 (b/b) (Moelyaningrum et al., 2019; Prasetya et al., 2015), kemudian dipanaskan dan diaduk hingga homogen dan

matang yang dapat diketahui melalui perubahan warna dari putih menjadi bening.

Pembuatan Biopelet (Peletisasi)

Peletisasi dilakukan menggunakan mesin *pelleter* konvensional tenaga penggerak mesin Shark dengan daya maksimal sebesar 8 HP dan putaran pulli 2600 rpm. Biopelet yang diproduksi sebanyak 8 jenis berdasarkan rasio pencampuran dengan serbuk kayu dengan rincian yang disajikan pada Tabel 1. Pencampuran serbuk limbah padat organik dengan perekat pati dilakukan di dalam ember secara manual hingga merata. Bahan yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam mesin. Di dalam mesin terjadi proses mekanik yang menggiling bahan baku pada cetakan yang membentuk biopelet, selanjutnya biopelet yang keluar dari lubang cetakan akan terbentuk ukuran yang sama dengan bantuan pisau yang berada di bawah cetakan. Biopelet yang sudah dicetak, dikeringkan di bawah sinar matahari selama 3 hari untuk mengurangi kadar air yang terdapat di dalam biopelet.

Tabel 1. Jenis Biopelet

No.	Kode	Jenis Bahan Baku	Rasio Pencampuran (Biomassa:Serbuk Kayu)	Rasio Pencampuran (Biomassa+Serbuk Kayu:Perekat)
1	A1B1	Sayur Singkong	100:0	80:20
2	A1B2	Sayur Singkong	75:25	80:20
3	A1B3	Sayur Singkong	50:50	80:20
4	A1B4	Sayur Singkong	25:75	80:20
5	A2B1	Kulit Durian	100:0	80:20
6	A2B2	Kulit Durian	75:25	80:20
7	A2B3	Kulit Durian	50:50	80:20
8	A2B4	Kulit Durian	25:75	80:20

Karakterisasi Biopelet

Metode karakterisasi sifat fisis, yaitu kadar air merujuk pada standar ASTM E 871-82, sedangkan kerapatan dilakukan dengan merujuk pada standar ASTM D 2395-14. Pengujian sifat mekanis (kekuatan tekan) dilakukan dengan merujuk pada standar ASTM D 4179 di mana pengujian dilakukan dengan metode *Side Crush Strenght* (SCS). Pengujian sifat kimia dan termal terdiri atas kadar abu, kadar zat terbang (*volatile matter*), kadar karbon terikat (*fixed carbon*), dan nilai kalor masing-masing dilakukan dengan merujuk pada standar ASTM D 1102-84, ASTM E 872-82, ASTM E 870-82, dan ASTM D5865-10a menggunakan alat Parr Bomb Calorimeter 6400.

Analisis Data

Rancangan percobaan dengan Rancangan Acak Lengkap Faktorial/RALF (faktor jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu) untuk menganalisis sifat-sifat biopelet. Kemudian hasil karakterisasi sifat-sifat biopelet dilakukan penstandaran yang merujuk pada standar ISO 17225-6:2021 kelas B.

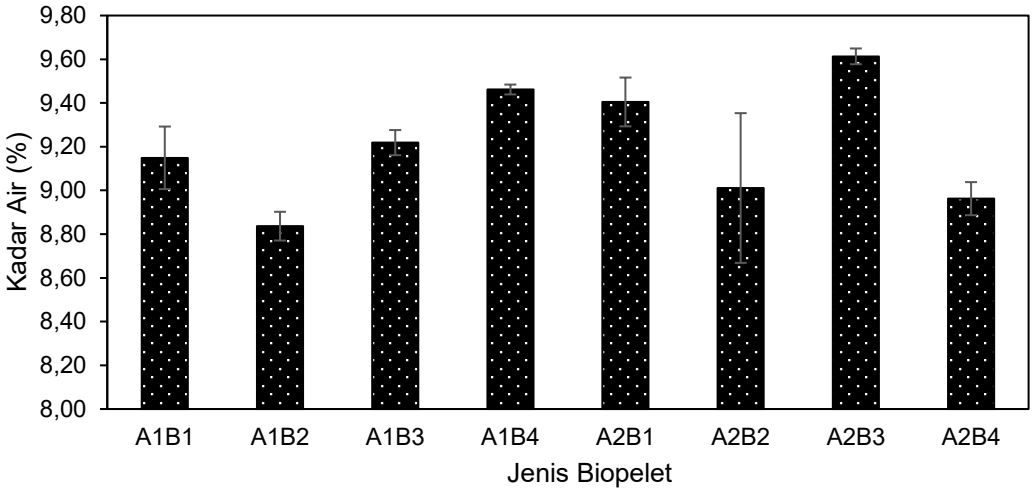
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kadar Air

Kadar air biopelet yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 8,84–9,61%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Biopelet jenis A1B2 memiliki nilai kadar air terendah, sedangkan biopelet jenis A2B3 memiliki nilai kadar air tertinggi. Kadar air biopelet pada penelitian ini sudah memenuhi standar ISO 17225-6:2021 kelas B, yang mensyaratkan kadar air maksimal sebesar 15%.

Berdasarkan hasil analisis statistik, diketahui bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap nilai kalor biopelet. Dari hasil uji lanjut DMRT, juga diketahui bahwa biopelet jenis A1B2 memiliki kadar air yang berbeda nyata dengan seluruh jenis biopelet, kecuali pada jenis biopelet A2B2 dan A2B4. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi karakteristik kimia dan struktur fisik masing-masing bahan baku memengaruhi kemampuan bahan dalam menyerap dan melepaskan air selama proses densifikasi.

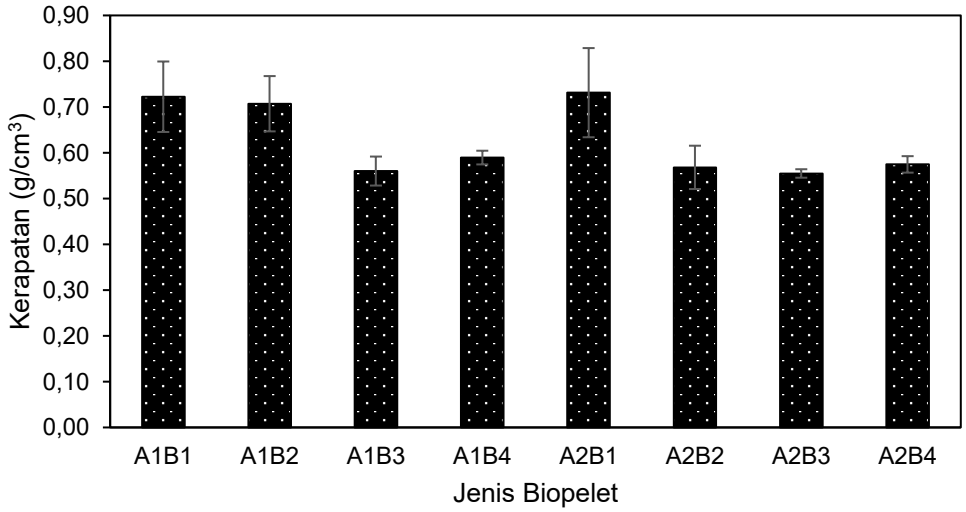
Menurut Nguyen et al., 2015, komposisi bahan baku dan ukuran partikel sangat menentukan distribusi kelembaban internal dan stabilitas kadar air pada pelet biomassa.



Gambar 1. Kadar Air Biopelet

Kerapatan

Kerapatan biopelet berkisar antara 0,55–0,73 g/cm³, seperti yang disajikan pada Gambar 2. Biopelet yang terbuat dari bahan baku kulit durian 100% memiliki kerapatan tertinggi, sedangkan kerapatan terendah ditemukan pada biopelet jenis A2B3. Kerapatan biopelet dalam penelitian ini sebagian telah memenuhi standar ISO 17225-6:2021 kelas B, yang mensyaratkan kerapatan minimum sebesar 0,6 g/cm³. Dari hasil analisis statistik, diketahui bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap kerapatan biopelet. Berdasarkan hasil uji lanjut DMRT, diketahui bahwa biopelet jenis A2B1 memiliki kerapatan yang berbeda nyata dengan seluruh jenis biopelet, kecuali pada jenis biopelet A1B1 dan A1B2.



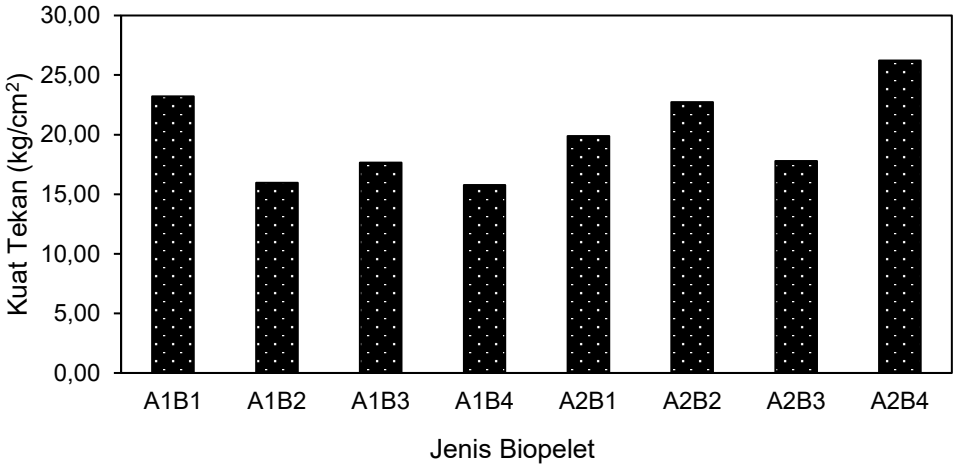
Gambar 2. Kerapatan Biopelet

Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik fisis dan kimia masing-masing bahan baku memengaruhi kemampuan partikel untuk terikat dan terkompresi selama proses peletisasi. Sifat bahan baku seperti kandungan lignin, ukuran partikel, dan kadar air sangat

menentukan kemampuan bahan dalam mengalami densifikasi selama proses kompresi (Nguyen et al., 2015). Lignin berperan sebagai pengikat alami (*natural binder*) yang melunak pada suhu tinggi dan membantu meningkatkan kepadatan pelet. Komposisi bahan berpengaruh besar terhadap kohesi antarpartikel, tergantung kadar lignin, ukuran partikel, dan kadar air saat pencetakan. Komposisi bahan perlu dioptimalkan agar biopelet memiliki keseimbangan antara kerapatan, kekuatan tekan, dan efisiensi pembakaran (Tambunan et al., 2023).

Kuat Tekan

Kuat tekan biopelet yang dihasilkan berkisar antara 15,76–26,23 kg/cm^2, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Biopelet jenis A2B4 memiliki nilai kuat tekan tertinggi, sedangkan biopelet jenis A1B4 memiliki nilai kuat tekan terendah. Kekuatan tekan menunjukkan ketahanan biopelet terhadap tekanan eksternal yang menyebabkan kerusakan. Semakin tinggi kekuatan tekan biopelet, semakin baik ketahanannya yang dapat memengaruhi biaya penanganan dan transportasi. Kuat tekan biopelet tidak memiliki nilai minimum yang harus dipenuhi dalam standar ISO 17225-6:2021 kelas B.

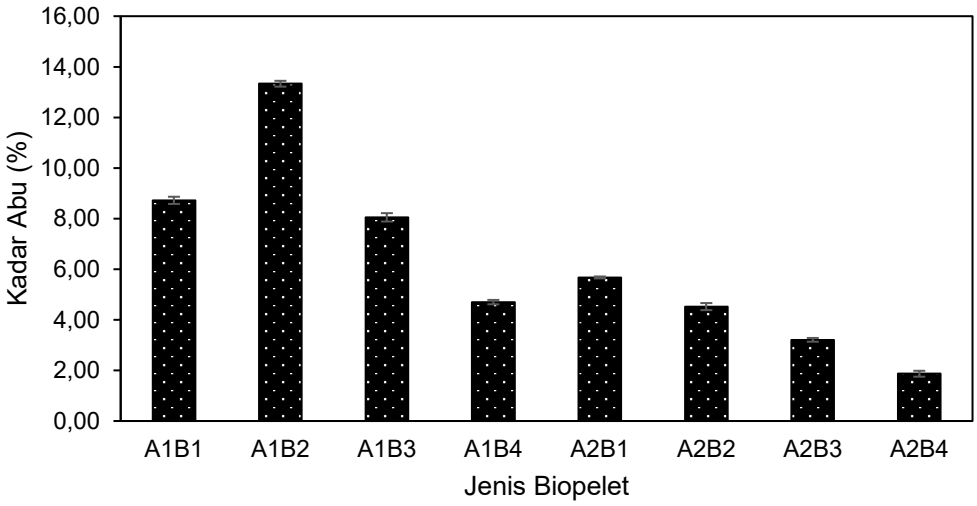


Gambar 3. Kuat Tekan Biopelet

Ini menunjukkan bahwa struktur serat durian yang keras dan kasar membutuhkan dukungan serbuk kayu agar terbentuk pelet yang lebih padat dan homogen. Artinya, kombinasi dua bahan berbeda dengan karakteristik serat yang saling melengkapi dapat meningkatkan daya tekan biopelet. Rasio campuran tertentu dapat menyebabkan distribusi partikel kurang seragam atau porositas internal lebih tinggi, sehingga menurunkan ketahanan mekanis. Porositas internal dan distribusi tekanan selama kompresi pada tahap peletisasi berperan penting dalam menentukan kekuatan tekan pelet biomassa berbasis limbah. Secara umum, peningkatan kerapatan cenderung meningkatkan kuat tekan karena struktur pelet menjadi lebih kompak dan memiliki kontak antarpartikel yang lebih luas (Mostafa et al., 2019). Oleh karena itu, perlakuan yang menghasilkan kerapatan tinggi biasanya juga menunjukkan performa mekanis yang lebih baik, meskipun faktor komposisi kimia dan kadar air tetap berperan signifikan.

Kadar Abu

Kadar abu biopelet yang dihasilkan berkisar antara 1,87–13,33%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Biopelet jenis A2B4 memiliki kadar abu terendah, sedangkan kadar abu yang tertinggi terdapat pada biopelet jenis A1B2. Kadar abu biopelet pada penelitian ini sudah memenuhi standar ISO 17225-6:2021 kelas B, yang mensyaratkan kadar abu maksimal sebesar 10%, kecuali biopelet jenis A1B2 yang memiliki nilai kadar abu sebesar 13,33%. Berdasarkan analisis statistik, diketahui bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap kadar abu biopelet. Adapun hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa kadar abu biopelet jenis A2B4 berbeda nyata dengan kadar abu seluruh jenis biopelet

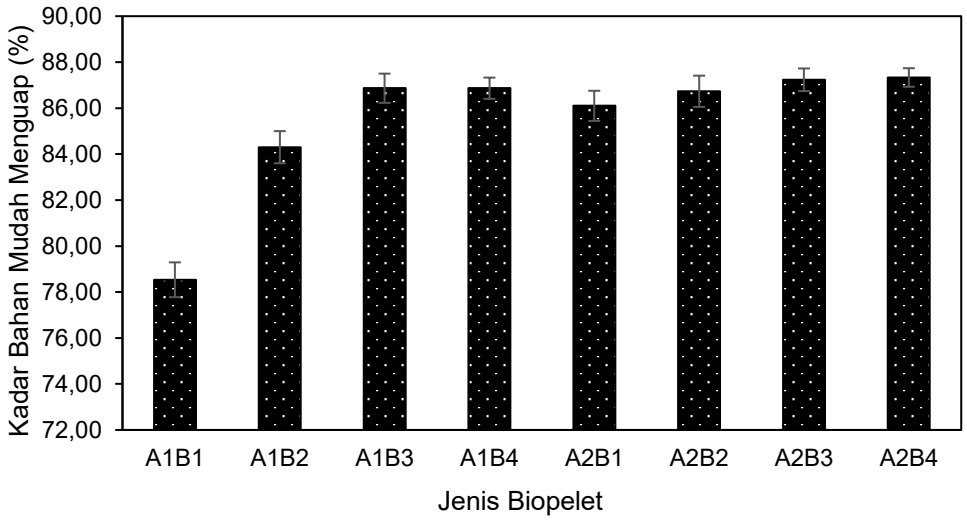


Gambar 4. Kadar Abu Biopelet

Biopelet dari campuran sayur dan serbuk kayu pada penelitian ini memiliki kadar abu yang lebih tinggi dibandingkan dengan biopelet dari campuran kulit durian dan serbuk kayu. Hal ini disebabkan oleh penggunaan bahan baku sayur daun singkong yang mengandung kadar abu yang lebih tinggi daripada kulit durian dan serbuk kayu. Daun singkong kaya akan mineral, sehingga memiliki kadar abu yang lebih tinggi (Oni et al., 2011). Kadar abu yang terkandung di dalam biopelet memengaruhi sisa pembakaran yang dihasilkan. Kadar abu yang tinggi akan menghasilkan sisa pembakaran bahan bakar yang tinggi, sehingga menghasilkan nilai kalor yang lebih rendah. Oleh karena itu, sifat ini merugikan pembakaran (Munawar and Subiyanto, 2014). Penambahan serbuk kayu dalam rasio tertentu kemungkinan membantu menurunkan konsentrasi total mineral karena biomassa kayu umumnya memiliki kadar abu yang lebih rendah dibandingkan limbah organik non-kayu. Kayu sebagai bahan lignoselulosa murni cenderung memiliki kandungan abu <3%, sehingga pencampurannya dapat menurunkan kadar abu total campuran (Nuryawan et al., 2025, 2021).

Kadar Bahan Mudah Menguap

Kadar bahan mudah menguap (*volatile matter*) biopelet yang dihasilkan pada penelitian ini bervariasi antara 78,53– 87,33%, seperti yang disajikan pada Gambar 5. Nilai tertinggi dan terendah masing-masing terdapat pada biopelet jenis A2B4 dan A1B1. Dari hasil analisis statistik, dapat diketahui bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap kadar bahan mudah menguap biopelet. Adapun hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa biopelet jenis A1B1 berbeda nyata dengan kadar bahan mudah menguap seluruh jenis biopelet. Standar ISO 17225-6:2021 kelas B tidak memberikan persyaratan terkait nilai kadar bahan mudah menguap. Kadar bahan mudah menguap biopelet pada penelitian ini memiliki nilai yang sebanding dengan biopelet dari campuran cangkang buah karet dan bambu ater dan biopelet dari limbah serabut kelapa sawit, masing-masing sebesar 79,44–80,34% dan 67–80,7% (Al Qadry et al., 2018; Kurniawan et al., 2022)



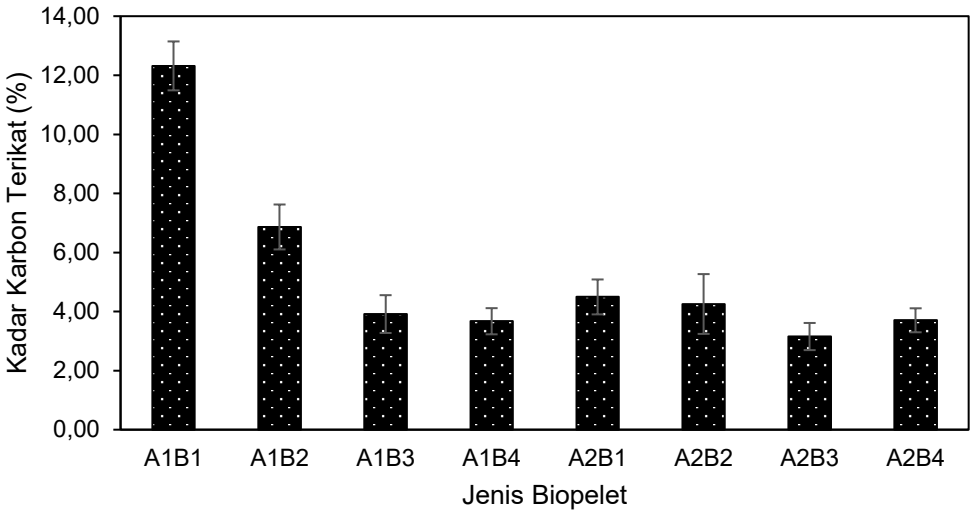
Gambar 5. Kadar Bahan Mudah Menguap Biopelet

Secara umum, biomassa lignoselulosa memiliki kadar bahan mudah menguap yang relatif tinggi, biasanya berada pada kisaran 70–85%, tergantung jenis bahan dan tingkat karbonisasi (Demirbas°, 2001; Tambunan et al., 2025). Nilai kadar bahan mudah menguap yang tinggi mencerminkan tingginya kandungan hemiselulosa dan selulosa yang mudah terdegradasi secara termal pada suhu 200–400°C. Dengan demikian, hasil penelitian ini masih berada dalam kisaran normal biopelet non-karbonisasi.

Secara keseluruhan, kadar bahan mudah menguap biopelet yang berada pada kisaran 78–87% menunjukkan bahwa biopelet memiliki karakteristik termal khas biomassa tanpa proses karbonisasi, dengan potensi penyalaan yang baik dan respons pembakaran yang cepat. Variasi nilai antar perlakuan menegaskan bahwa komposisi bahan baku dan rasio pencampuran berperan penting dalam menentukan karakteristik devolatilisasi biopelet, yang selanjutnya akan memengaruhi nilai kalor dan performa pembakaran. Apabila kadar bahan mudah menguap pada bahan bakar biopelet tinggi, kandungan karbonnya akan rendah, menghasilkan asap yang lebih banyak dan proses pembakaran yang terlalu cepat. Kecepatan pembakaran yang tinggi ini mengakibatkan borosnya konsumsi biopelet (Stolarski et al., 2025).

Kadar Karbon Terikat

Biopelet pada penelitian ini memiliki kadar karbon terikat (*fixed carbon*) berkisar antara 3,15–12,32%, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Nilai tertinggi diperoleh pada biopelet jenis A1B1, sedangkan nilai terendah ditemukan pada biopelet jenis A2B3. Standar ISO 17225-6:2021 kelas B tidak memberikan persyaratan terkait nilai kadar karbon terikat. Namun, apabila dibandingkan dengan biopelet dari jenis bahan baku lain, biopelet yang dihasilkan pada penelitian ini memiliki kadar karbon terikat yang tergolong rendah. Misalnya, biopelet yang terbuat dari campuran cangkang kelapa sawit dan serbuk kayu juga memiliki nilai kadar karbon terikat yang lebih tinggi sebesar 19,38–22,23% (Al Qadry et al., 2018). Hal tersebut juga diperkuat oleh kadar abu dan kadar bahan mudah menguap biopelet yang lebih tinggi pada penelitian ini, sehingga menghasilkan kadar karbon terikat yang lebih rendah.



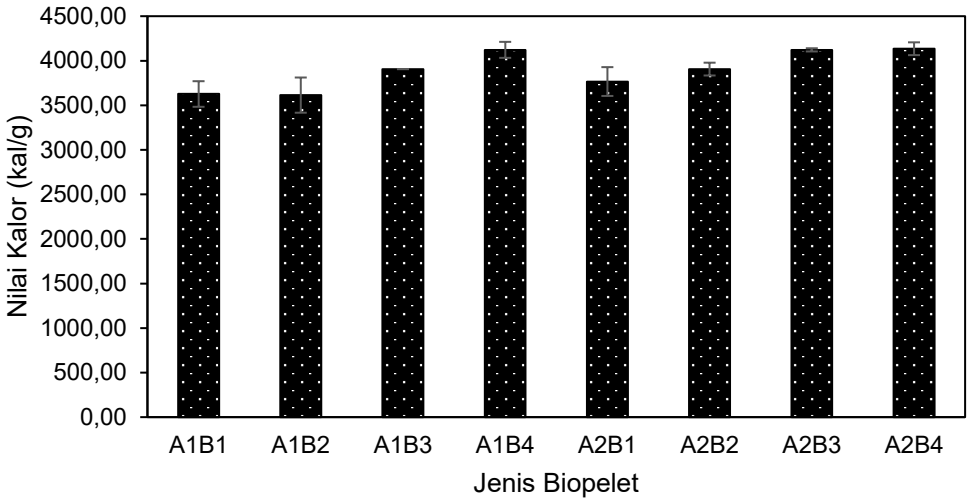
Gambar 6. Kadar Karbon Terikat Biopelet

Berdasarkan analisis statistik, diketahui bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap kadar karbon terikat biopelet. Adapun hasil uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa kadar karbon terikat biopelet jenis A1B1 berbeda nyata dengan kadar karbon terikat dari biopelet jenis yang lain pada penelitian ini.

Penghitungan karbon terikat menggambarkan jumlah bahan padat yang dapat terbakar setelah menghilangkan bahan mudah menguap dari biopelet. Terdapat hubungan invers antara kadar bahan mudah menguap dan karbon terikat, apabila kadar bahan mudah menguap meningkat, maka akan menurunkan nilai karbon terikat (Vassilev et al., 2010). Biopelet dengan karbon terikat lebih tinggi umumnya memiliki pembakaran lebih stabil dan menghasilkan panas yang lebih bertahan lama, meskipun fase penyalaannya mungkin lebih lambat dibandingkan biopelet dengan kadar bahan mudah menguap yang tinggi.

Nilai Kalor

Nilai kalor biopelet disajikan pada Gambar 7. Diketahui bahwa nilai kalor biopelet yang dihasilkan pada penelitian ini berkisar antara 3614,20–4134,84 kal/g. Biopelet jenis A2B4 memiliki nilai kalor tertinggi, sedangkan biopelet jenis A1B2 memiliki nilai kalor terendah. Berdasarkan standar ISO 17225-6:2021 kelas B, nilai kalor biopelet yang dihasilkan memenuhi syarat nilai kalor minimum sebesar 3464 kal/g. Dari indikator nilai kalor tersebut menunjukkan bahwa biopelet yang diperoleh pada penelitian ini dapat diperuntukkan sebagai sumber energi. Nilai kalor biopelet yang tinggi memiliki kandungan energi yang besar, sehingga dihasilkan jumlah panas yang tinggi saat proses pembakaran biopelet.



Gambar 7. Nilai Kalor Biopelet

Nilai kalor dari semua jenis biopelet memiliki pola yang sama, bahwa peningkatan proporsi serbuk kayu dalam campuran menyebabkan kenaikan pada nilai kalor. Diperkuat dengan hasil analisis statistik yang menyatakan bahwa interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kalor biopelet. Sedangkan faktor tunggal baik jenis bahan baku maupun rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata. Dari hasil uji lanjut DMRT, juga diketahui bahwa jenis bahan baku durian memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan baku sayur, sementara itu rasio pencampuran dengan serbuk kayu sebesar 50% dan 75% berbeda nyata dengan rasio 0% dan 25%.

Hal ini menunjukkan bahwa serbuk kayu berperan penting dalam meningkatkan kandungan energi biopelet. Peningkatan nilai kalor ini dapat dikaitkan dengan kandungan lignoselulosa, terutama lignin pada serbuk kayu yang lebih tinggi dibandingkan limbah organik seperti sayuran dan durian (Iriany et al., 2023). Secara umum, nilai kalor bahan bakar lignoselulosa meningkat seiring dengan peningkatan kandungan lignin. Lignin memiliki nilai kalor yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan komponen lignoselulosa lainnya (Demirbas°, 2001). Selain itu, serbuk kayu juga memiliki kadar abu yang lebih rendah dibandingkan dengan limbah organik (sayur dan durian) yang memengaruhi tinggi rendahnya nilai kalor yang dihasilkan (Rahmawati et al., 2023). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa formulasi terbaik dalam penelitian ini adalah A2B4 (kulit durian:serbuk kayu = 25:75), karena menghasilkan nilai kalor tertinggi yaitu 4134,84 kal/g. Kombinasi tersebut dinilai paling efisien dalam menghasilkan biopelet berkualitas tinggi sebagai bahan bakar padat alternatif yang ramah lingkungan.

SIMPULAN DAN SARAN

Biopelet yang dihasilkan dari campuran limbah padat organik berupa limbah sayur, kulit durian, dan serbuk kayu telah memenuhi standar ISO 17225-6:2021 kelas B. Interaksi antara jenis bahan baku dan rasio pencampuran dengan serbuk kayu berpengaruh nyata terhadap karakteristik fisis, mekanis, dan kimia biopelet. Formulasi biopelet menunjukkan performa kualitas yang memenuhi standar internasional, di mana formulasi yang paling optimal adalah biopelet jenis A2B4 (kulit durian:serbuk kayu = 25:75), sehingga limbah padat organik memiliki potensi besar sebagai bahan baku biopelet alternatif yang mendukung pengembangan energi terbarukan dan ekonomi sirkular. Tidak terbatas pada hal tersebut, upaya ini juga mendukung transisi ke energi terbarukan dan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB).

DAFTAR PUSTAKA

A. Roni, K., Halimzikri, M.A., Herawati, N., 2024. The Production of Briquette Biopellet from Waste of Arabica Coffee (Coffea arabica) Husk by Using Cornstarch as a Glue. International

Journal of Applied Science and Research 07, 34–45. https://doi.org/10.56293/ijasr.2024.5705

Al Qadry, M.G., Saputro, D.D., Widodo, R.D., 2018. Karakteristik dan Uji Pembakaran Biopelet Campuran Cangkang Kelapa Sawit dan Serbuk Kayu Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan. Jurnal Sain dan Teknologi 16, 177–188.

Dahliana, Kurniawan, E., Ginting, Z., Ishak, Dewi, R., 2022. Pemanfaatan Limbah Serabut Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacg.) Sebagai Sumber Energi Alternatif dalam Pembuatan Biopelet. Chemical Engineering Journal Storage 2, 11–24.

Demirbas°, A., 2001. Relationships between lignin contents and heating values of biomass. Energy Convers. Manag. 42, 183–188.

Iriany, Hasibuan, R., Novita, D., Ummah, N.M., 2023. Pengaruh Komposisi Bahan Baku dan Ukuran Partikel Terhadap Kualitas Biobriket dari Cangkang Buah Karet dan Ranting Kayu. Jurnal Teknik Kimia USU 12, 1–8. https://doi.org/10.32734/jtk.v12i1.9818

Latif, S., Müller, J., 2015. Potential of cassava leaves in human nutrition: A review. Trends Food Sci. Technol. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.006

Maulida, A., Masjud, Y.I., 2024. The Impact of Renewable Energy on Climate Change: A Literature Review. Peatland Agriculture and Climate Change Journal 1, 16–23. https://doi.org/10.61511/pacc.v1i1.2024.621

Moelyaningrum, A.D., Molassy, H.D., Setyowati, I.K., 2019. The formulation Robusta coffee bark Jember Indonesia for charcoal Briquettes as alternative energy : the comparison organic starch adhesive and anorganic adhesive. J. Phys. Conf. Ser. 1363. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1363/1/012091

Mostafa, M.E., Hu, S., Wang, Y., Su, S., Hu, X., Elsayed, S.A., Xiang, J., 2019. The significance of pelletization operating conditions: An analysis of physical and mechanical characteristics as well as energy consumption of biomass pellets. Renewable and Sustainable Energy Reviews 105, 332–348. https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.053

Munawar, S.S., Subiyanto, B., 2014. Characterization of Biomass Pellet Made from Solid Waste Oil Palm Industry. Procedia Environ. Sci. 20, 336–341. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.042

Nawawi, D.S., Carolina, A., Saskia, T., Darmawan, D., Gusvina, S.L., Wistara, N.J., Sari, R.K., Syafii, W., 2018. Karakteristik kimia biomassa untuk energi. Ilmu Teknologi Kayu Tropis 16, 45–51.

Nguyen, Q.N., Cloutier, A., Achim, A., Stevanovic, T., 2015. Effect of process parameters and raw material characteristics on physical and mechanical properties of wood pellets made from sugar maple particles. Biomass Bioenergy 80, 338–349. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.06.010

Nuryawan, A., Simatupang, J., Risnasari, I., Nur, T. Bin, Fatriasari, W., Basyuni, M., Tambunan, H., Utami, S.S., Jeong, B., 2025. Physical, chemical, mechanical, and thermal properties of charcoal briquettes produced from mangrove branch wood. Front. Mater. 12. https://doi.org/10.3389/fmats.2025.1611316

Nuryawan, A., Syahputra, R.S., Azhar, I., Risnasari, I., 2021. Basic properties of the mangrove tree branches as a raw material of wood pellets and briquettes, in: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing Ltd. https://doi.org/10.1088/1755-1315/891/1/012005

Oni, A.O., Onwuka, C.F.I., Arigbede, O.M., Anele, U.Y., Oduguwa, O.O., Onifade, O.S., Tan, Z.L., 2011. Chemical composition and nutritive value of four varieties of cassava leaves grown in South-Western Nigeria. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. (Berl). 95, 583–590. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2010.01086.x

Oyelaran, O.A., Sani, F.M., Sanusi, O.M., Balogun, O., Fagbemigun, A.O., 2018. Energy Potentials of Briquette Produced from Tannery Solid Waste. Makara

Journal of Technology 21, 122. https://doi.org/10.7454/mst.v21i3.3429

Prasetya, J., Junary, E., Herlina, N., 2015. Pengaruh Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka dan Penambahan Kapur Dalam Pembuatan Briket Arang Berbahan Baku Pelepah Aren (Arenga pinnata). Jurnal Teknik Kimia USU 4, 32–38.

Putra, A.R., Iswanto, A.H., Nuryawan, A., Darmawan, S., Madyaratri, E.W., Fatriasari, W., Hua, L.S., Antov, P., Manurung, H., Pendi, A.P.A.S.H., 2024. Characteristics of Biopellets Manufactured from Various Lignocellulosic Feedstocks as Alternative Renewable Energy Sources. J. Renew. Mater. 12, 1103–1123. https://doi.org/10.32604/jrm.2024.051077

Rabier, F., Temmerman, M., Böhm, T., Hartmann, H., Daugbjerg Jensen, P., Rathbauer, J., Carrasco, J., Fernández, M., 2006. Particle density determination of pellets and briquettes. Biomass Bioenergy 30, 954–963. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.006

Rahmawati, S., Afadil, Suherman, Santoso, T., Abram, P.H., Rabasia, 2023. The utilization of durian peels (Durio zibethinus) for the manufacturing of charcoal briquettes as alternative fuel. Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan 13, 76–87. https://doi.org/10.29244/jpsl.13.1.76-87

Sidabutar, V.T.P., 2018. Kajian Peningkatan Potensi Ekspor Pelet Kayu Indonesia sebagai Sumber Energi Biomassa yang Terbarukan. Jurnal Ilmu Kehutanan 12, 99. https://doi.org/10.22146/jik.34125

Stolarski, M.J., Krzyżaniak, M., Olba-Zięty, E., 2025. Properties of Pellets from Forest and Agricultural Biomass and Their Mixtures. Energies (Basel). 18. https://doi.org/10.3390/en18123137

Tambun, R., Haryanto, B., Alexander, V., Manurung, D.R., Ritonga, A.P., 2024. Durian peel (Durio zibethinus) utilization as an adsorbent in the purification of acidified crude glycerol. S. Afr. J. Chem. Eng. 49, 162–169. https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.05.002

Tambunan, H., Nuryawan, A., Iswanto, A.H., Risnasari, I., Basyuni, M., Fatriasari, W., 2023. Briquettes Made of Branches Wood of Three Mangrove Species Bonded by Starch Adhesive. Materials 16. https://doi.org/10.3390/ma16155266

Tambunan, H., Safrizal, Fahmi, M., 2025. Characteristics of Agricultural and Plantation Wastes as Solid Biomass Energy Feedstock: A Systematic Review. Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur. https://doi.org/10.21009/jkem.10.2.6

Tauro, R., García, C.A., Skutsch, M., Masera, O., 2018. The potential for sustainable biomass pellets in Mexico: An analysis of energy potential, logistic costs and market demand. Renewable and Sustainable Energy Reviews 82, 380–389. https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.036

Vassilev, S. V., Baxter, D., Andersen, L.K., Vassileva, C.G., 2010. An overview of the chemical composition of biomass. Fuel. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.10.022