

Pengaruh Komposisi Bahan Baku Ampas - Kulit Kopi dan Jenis Perikat terhadap Karakteristik Biobriket serta Emisi Gas Rumah Kaca pada Proses Produksi

Delia Anisa Putri, Aussie Amalia

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

Koresponden email: deliaanisaputri0@gmail.com, aussieamalia.tl@upnjatim.id

Diterima: 16 November 2025

Disetujui: 24 November 2025

Abstract

The utilization of coffee waste as an alternative fuel is a potential strategy in supporting organic waste management and the transition towards renewable energy. This research aims to analyze the effect of variations in the composition of coffee grounds and husk, as well as the type of binder, on the characteristics of bio-briquettes, while also evaluating the greenhouse gas (GHG) emissions generated during their production process using a Life Cycle Assessment (LCA) approach. The experimental method was carried out through the carbonization process of coffee waste at a temperature of 450°C for 80 minutes, followed by mixing the 60-mesh charcoal with bentonite and pulp binders. Characteristic testing, including moisture content, ash content, calorific value, and combustion rate, referred to SNI 01-6235-2000, while the LCA analysis was conducted using SimaPro software with the IPCC GWP100 (2021) method. The results showed that the combination of 100% coffee grounds with a pulp binder produced the best performance with the lowest moisture (4.2%) and ash (1.2%) content, a high calorific value (>6,000 cal/g), and a stable combustion rate. Thus, this combination is recommended as it yields optimal quality while lowering the environmental impact of production. The carbonization stage was the largest contributor to GHG emissions (25.11 kg CO₂-eq/kg product), followed by oven drying (3.77 kg CO₂-eq/kg). These findings affirm the importance of raw material optimization and energy efficiency in enhancing the quality and sustainability of bio-briquette production.

Keywords: *coffee waste, bio-briquette, binder, life cycle assessment, greenhouse gas emissions*

Abstrak

Pemanfaatan limbah kopi sebagai bahan bakar alternatif merupakan strategi potensial dalam mendukung pengelolaan limbah organik dan transisi menuju energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi komposisi ampas dan kulit kopi serta jenis perekat terhadap karakteristik biobriket, sekaligus mengevaluasi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang dihasilkan selama proses produksinya menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Metode eksperimen dilakukan melalui proses karbonisasi limbah kopi pada suhu 450°C selama 80 menit, diikuti pencampuran arang berukuran 60 mesh dengan perekat bentonit dan *pulp*. Uji karakteristik meliputi kadar air, kadar abu, nilai kalor, dan laju pembakaran mengacu pada SNI 01-6235-2000, sedangkan analisis LCA dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro dengan metode IPCC GWP100 (2021). Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi 100% ampas kopi dengan perekat *pulp* menghasilkan performa terbaik dengan kadar air (4,2%) dan abu (1,2%) terendah, nilai kalor tinggi (>6.000 kal/g), serta laju pembakaran yang stabil. Kombinasi tersebut direkomendasikan karena menghasilkan kualitas optimal sekaligus menurunkan dampak lingkungan produksi. Tahap karbonisasi merupakan penyumbang emisi GRK terbesar (25,11 kg CO₂-eq/kg produk), diikuti pengeringan oven (3,77 kg CO₂-eq/kg). Temuan ini menegaskan pentingnya optimalisasi bahan baku dan efisiensi energi dalam meningkatkan kualitas dan keberlanjutan produksi biobriket.

Kata kunci: *limbah kopi, biobriket, life cycle assessment, emisi gas rumah kaca*

1. Pendahuluan

Indonesia menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan limbah organik sekaligus kebutuhan untuk beralih ke sumber energi yang lebih ramah lingkungan. Produksi kopi yang melimpah menghasilkan limbah seperti ampas dan kulit kopi yang sering dibuang tanpa pemanfaatan lebih lanjut, padahal memiliki potensi sebagai bahan bakar biomassa. Pemanfaatan limbah kopi untuk pembuatan biobriket dapat mendukung pengurangan limbah serta substitusi bahan bakar fosil [1].

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan termal biobriket berbasis limbah kopi dan biomassa lainnya. Misalnya, penelitian oleh [2] meneliti densitas dan kadar abu biobriket dari ampas kopi dan menunjukkan bahwa produk tersebut secara teknis memenuhi standar mutu SNI briket. Penelitian lain menunjukkan bahwa biobriket secara umum dapat menjadi alternatif rendah-emisi dibanding batu bara [3]. Namun, kajian mengenai emisi gas rumah kaca (GRK) sepanjang siklus produksi biobriket masih terbatas, terutama yang mengaitkan karakteristik produk (kadar air, nilai kalor, laju pembakaran) dengan emisi gas rumah kaca pada proses produksi melalui analisis LCA.

Selain karakteristik biobriket, penilaian dampak lingkungan selama produksi biobriket menjadi penting untuk memastikan keberlanjutan. Pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan metode IPCC GWP100 memungkinkan penghitungan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O dari setiap tahapan produksi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bahan baku dan jenis perekat terhadap karakteristik biobriket, serta menilai emisi GRK dari proses produksinya. (LCA) [4].

2. Metode Penelitian

Persiapan Bahan Baku

Ampas kopi dan kulit kopi terlebih dahulu dijemur di bawah sinar matahari hingga mencapai kondisi kering udara. Bahan yang telah kering kemudian dikarbonisasi menggunakan furnace listrik pada suhu 450°C selama 80 menit. Hasil karbonisasi didinginkan, kemudian dihaluskan menggunakan mortar dan diayak dengan ayakan 60 mesh untuk memperoleh serbuk arang berukuran seragam.

Pembuatan Biobriket

Serbuk arang ampas kopi dan kulit kopi dicampur sesuai variasi komposisi, yaitu 100% ampas kopi, 50% ampas kopi:50% kulit kopi, dan 100% kulit kopi. Setiap campuran diberi perekat berbeda, yaitu *pulp* dan bentonit, dengan kadar perekat sebesar 30% dari total massa bahan utama, sehingga untuk setiap 30 gram bahan baku ditambahkan 9 gram perekat. *Pulp* diperoleh dari hasil perendaman dan penghalusan limbah kertas selama 48 jam hingga menjadi adonan lunak dan homogen. Sementara itu, bentonit dilarutkan dalam air dengan perbandingan 1:5 (g/mL) untuk membentuk larutan kental sebelum dicampurkan dengan serbuk arang.

Campuran diaduk hingga homogen, kemudian dimasukkan ke dalam cetakan silinder (diameter 2 inch) dan ditekan menggunakan alat tekan manual hingga terbentuk biobriket. Biobriket yang telah dicetak diangin-anginkan selama 3×24 jam pada suhu ruang, kemudian dikeringkan menggunakan oven listrik bersuhu 105°C selama 4 jam.

Pengujian Karakteristik Biobriket

Analisis yang dilakukan meliputi pengujian kadar air, kadar abu, nilai kalor, dan laju pembakaran. Parameter tersebut digunakan untuk menentukan kualitas biobriket hasil variasi komposisi bahan baku ampas–kulit kopi dan jenis perekat. Metode pengujian yang digunakan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Metode Pengujian Karakteristik Biobriket Ampas dan Kulit Kopi

Parameter	Metode Uji	Satuan
Kadar Air	SNI 06-3730-1995	%
Kadar Abu	SNI 06-3730-1995	%
Nilai Kalor	<i>Bomb Calorimeter</i> (Tipe XRY-1A)	kal/gr
Laju Pembakaran	-	gr/menit

Sumber : Hasil Analisis, 2025

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dengan Metode *Life Cycle Assessment*

Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) dilakukan untuk menilai potensi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan selama proses produksi biobriket berbahan dasar ampas dan kulit kopi. Penilaian dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro dengan metode IPCC GWP100 (2021) yang menghitung total emisi dalam satuan ekivalen karbon dioksida (CO₂-eq).

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gate-to-gate*, yang mencakup seluruh aktivitas produksi mulai dari pengeringan bahan baku hingga pengeringan akhir biobriket, tanpa mempertimbangkan fase penggunaan maupun pembuangan produk akhir. Unit fungsional yang digunakan sebagai dasar perhitungan adalah 1 kilogram biobriket.

Proses produksi biobriket dalam analisis ini terdiri atas empat tahap utama, yaitu pengeringan awal, karbonisasi, pencampuran dan pencetakan, serta pengeringan akhir. Pengeringan awal dilakukan dengan menjemur bahan baku di bawah sinar matahari langsung hingga mencapai kondisi kering udara. Karena tidak menggunakan energi listrik atau bahan bakar tambahan, tahap ini tidak memberikan kontribusi

langsung terhadap emisi GRK. Tahap karbonisasi dilakukan menggunakan furnace listrik berdaya 3,0 kW pada suhu 450°C selama 80 menit. Proses ini merupakan salah satu sumber utama emisi karena melibatkan konsumsi energi listrik dalam jumlah besar.

Tahap pencampuran dan pencetakan dilakukan setelah proses karbonisasi selesai. Serbuk arang hasil karbonisasi dicampurkan dengan larutan perekat berbahan dasar bentonit dan air dengan perbandingan 1:5 hingga membentuk larutan kental yang homogen. Untuk perekat *pulp*, bahan dibuat dari limbah kertas yang telah direndam selama 48 jam, kemudian dihancurkan menggunakan blender listrik berdaya 0,3 kW selama 15 menit hingga menjadi adonan *pulp* homogen. Larutan perekat ditambahkan ke dalam campuran serbuk arang sebanyak 30% dari total massa adonan, kemudian diaduk hingga merata. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan silinder dan ditekan menggunakan alat tekan manual tanpa bantuan listrik, sehingga tidak menambah konsumsi energi maupun emisi tambahan.

Proses berikutnya adalah pengeringan akhir dimana biobriket yang telah dicetak diangin-anginkan selama tiga hari pada suhu ruang, kemudian dikeringkan menggunakan oven listrik berdaya 1,2 kW pada suhu 105°C selama empat jam untuk memastikan kadar air menurun hingga mencapai kondisi stabil. Energi listrik yang digunakan pada tahap karbonisasi dan pengeringan akhir dikonversi menjadi emisi CO₂-ekuivalen menggunakan faktor emisi dari basis data SimaPro dan pedoman IPCC (2021).

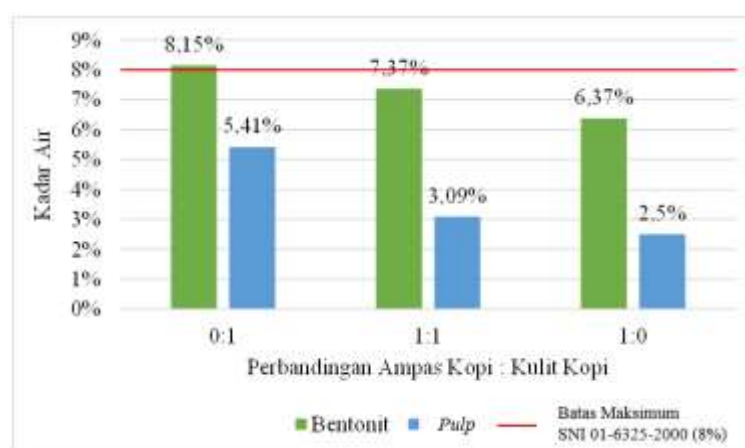
Selain emisi dari konsumsi energi, analisis juga mempertimbangkan emisi akibat transportasi bahan baku dari salah satu kedai kopi di kawasan Tenggilis, Surabaya, menuju UPN “Veteran” Jawa Timur di Rungkut dengan jarak tempuh total 8,4 km. Transportasi dilakukan menggunakan sepeda motor berbahan bakar bensin dengan efisiensi bahan bakar sekitar 59 km/L.

Seluruh data input berupa konsumsi energi listrik, bahan bakar transportasi, serta massa bahan baku dimasukkan ke dalam sistem inventori (*Life Cycle Inventory – LCI*) di perangkat lunak SimaPro. Hasil pengolahan kemudian dinyatakan dalam satuan kilogram CO₂-ekuivalen per kilogram biobriket (kg CO₂-eq/kg produk). Melalui pendekatan ini, tahapan proses yang paling berkontribusi terhadap total emisi GRK dapat diidentifikasi, sehingga dapat menjadi dasar untuk rekomendasi efisiensi energi dan strategi pengurangan emisi pada proses produksi biobriket berbasis limbah kopi.

3. Hasil dan Pembahasan

Kadar Air

Kadar air menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan kualitas biobriket karena memengaruhi proses penyalaan dan kestabilan pembakaran. Analisis kadar air dilakukan untuk mengetahui jumlah air yang terkandung dalam biobriket. Pengujian ini dilakukan berdasarkan metode SNI 06-3730-1995, yaitu dengan memanaskan sampel dalam oven pada suhu 115°C selama 3 jam. Kandungan air yang tinggi dapat disebabkan oleh sifat higroskopis bahan baku, yaitu kemampuan ampas dan kulit kopi menyerap uap air dari udara. Hasil persentase kadar air setiap sampel biobriket dapat diamati **Gambar 1**.



Gambar 1. Hasil Pengujian % Kadar Air

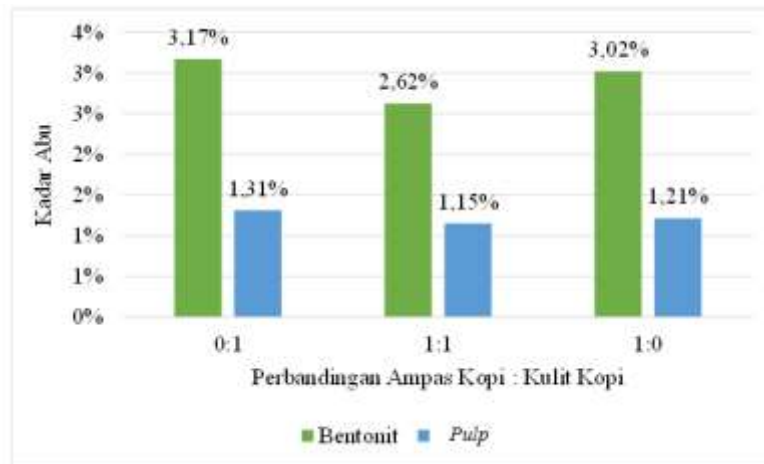
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Dari hasil pengujian, kadar air terendah diperoleh pada biobriket dengan komposisi 100% ampas kopi dan perekat *pulp*, yaitu sebesar 4,2%. Nilai ini sudah sesuai dengan standar SNI 01-6235-2000 yang mensyaratkan kadar air maksimal 8%. Peningkatan proporsi kulit kopi menyebabkan kadar air cenderung naik karena struktur seratnya yang mudah menyerap kelembapan. Sementara itu, penggunaan perekat bentonit juga sedikit meningkatkan kadar air karena sifatnya yang mampu mengikat air [5]. Semakin rendah

kadar air, biobriket akan lebih mudah dinyalakan dan menghasilkan panas yang stabil selama proses pembakaran [6].

Kadar Abu

Kadar abu menunjukkan sisa material yang tidak terbakar setelah proses pembakaran selesai. Pengujian kadar abu dilakukan dengan metode SNI 06-3730-1995, yaitu dengan memanaskan sampel di furnace pada suhu 800°C selama 2 jam. Hasil persentase kadar abu setiap sampel biobriket dapat diamati dalam grafik pada **Gambar 2**.

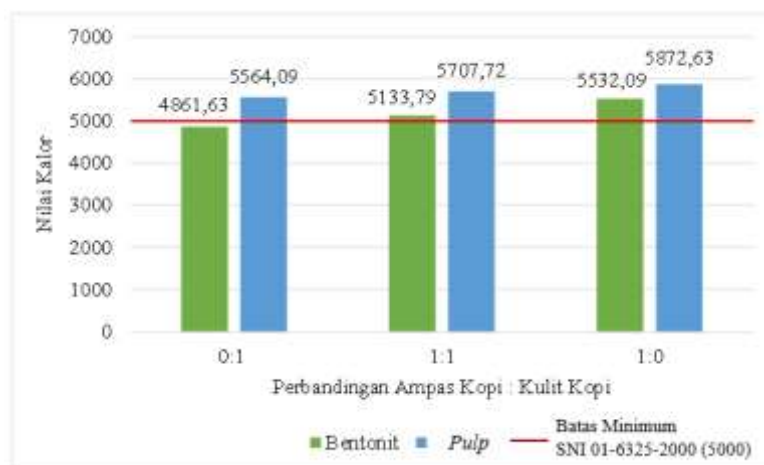


Gambar 2. Hasil Pengujian % Kadar Abu
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Hasil penelitian menunjukkan bahwa biobriket dengan perekat *pulp* memiliki kadar abu paling rendah, yaitu 1,2%, sedangkan penggunaan bentonit menghasilkan kadar abu tertinggi, mencapai sekitar 2,9%. Tingginya kadar abu pada bentonit disebabkan oleh kandungan mineral anorganik yang memang tidak bisa terbakar [7]. Penambahan kulit kopi dalam komposisi bahan juga sedikit meningkatkan kadar abu karena adanya kandungan silika dan senyawa mineral lainnya. Secara umum, seluruh variasi biobriket dalam penelitian ini masih memenuhi standar, karena kadar abu yang dihasilkan masih di bawah 5%, yang berarti biobriket memiliki karakter pembakaran yang bersih.. Hal ini menunjukkan bahwa bahan organik murni seperti ampas kopi lebih layak digunakan sebagai bahan utama biobriket.

Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan parameter utama untuk menentukan potensi energi dari biobriket. Pengujian dilakukan menggunakan *Bomb Calorimeter* tipe XRY-1A. Hasil uji nilai kalor setiap sampel biobriket dapat diamati dalam grafik pada **Gambar 3**.



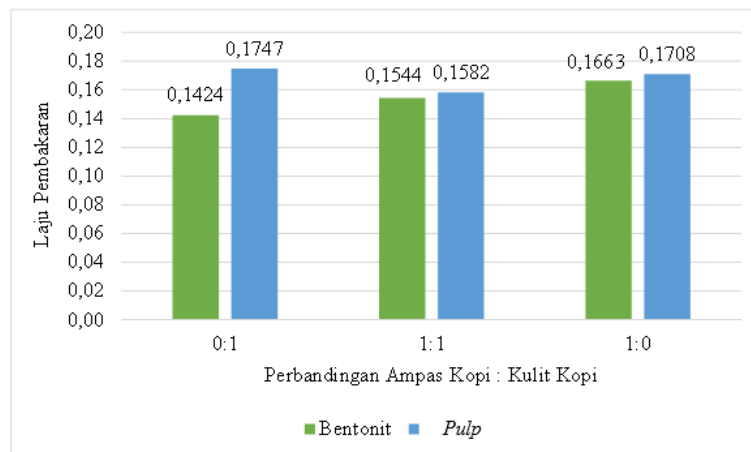
Gambar 3. Hasil Pengujian Nilai Kalor
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Kombinasi 100% ampas kopi dengan perekat *pulp* menghasilkan nilai kalor tertinggi, sedangkan nilai terendah terdapat pada biobriket 100% kulit kopi dengan perekat bentonit. Nilai ini menunjukkan

bahwa biobriket tersebut memiliki kemampuan pembakaran yang sangat baik dan sudah memenuhi standar mutu biobriket SNI. Hal ini disebabkan oleh kandungan karbon tetap pada ampas kopi yang lebih tinggi dibanding kulit kopi, serta kemampuan *pulp* dalam membentuk struktur biobriket yang padat dan mudah terbakar [8]. Penurunan nilai kalor terjadi seiring meningkatnya proporsi kulit kopi karena bahan ini memiliki kandungan abu dan zat volatil yang lebih tinggi sehingga mengurangi kadar karbon tetap yang dibutuhkan untuk pembakaran. Penggunaan perekat bentonit juga menyebabkan penurunan nilai kalor karena sifatnya yang tidak terbakar. Secara keseluruhan, semakin tinggi kandungan bahan organik homogen seperti ampas kopi, semakin besar pula energi panas yang dihasilkan [9].

Laju Pembakaran

Laju pembakaran menunjukkan kecepatan konsumsi bahan bakar selama proses pembakaran. Pengujian dilakukan secara manual dengan menimbang massa biobriket sebelum pembakaran dan mencatat waktu hingga api padam seluruhnya. Hasil uji laju pembakaran setiap sampel biobriket dapat diamati dalam grafik pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil Pengujian Laju Pembakaran
Sumber : Hasil Analisis, 2025

Biobriket dengan perekat *pulp* menunjukkan laju pembakaran paling stabil dengan nyala api berwarna jingga kemerahan dan tidak terlalu cepat padam. Hal ini menunjukkan pembakaran berlangsung merata dan efisien. Sebaliknya, penggunaan perekat bentonit membuat laju pembakaran sedikit lebih lambat karena kandungan mineral di dalamnya menghambat difusi udara ke dalam pori-pori biobriket [10]. Biobriket dengan bahan organik homogen seperti ampas kopi cenderung lebih mudah terbakar karena memiliki struktur yang lebih padat sekaligus mampu menahan panas dengan baik [11]. Dengan demikian, perekat organik seperti *pulp* tidak hanya berfungsi sebagai pengikat, tetapi juga berperan dalam meningkatkan performa pembakaran [12].

Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dengan Metode *Life Cycle Assessment*

Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) digunakan untuk menilai dampak lingkungan dari setiap tahap proses produksi biobriket. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tahap karbonisasi merupakan penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar, yaitu sebesar 25,11 kg CO₂-eq per kilogram produk, diikuti pengeringan oven sebesar 3,77 kg CO₂-eq/kg, pencampuran dan pencetakan 0,059 kg CO₂-eq/kg.

Secara ilmiah, tingginya emisi pada tahap karbonisasi disebabkan oleh kebutuhan energi panas yang tinggi untuk menguraikan senyawa organik kompleks (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) menjadi arang [13]. Proses ini menghasilkan pelepasan gas CO₂ dan CH₄ dalam jumlah signifikan. Emisi dari pengeringan oven terutama berasal dari konsumsi listrik, sedangkan pencampuran dan pencetakan memberikan kontribusi kecil karena kebutuhan energinya rendah.

Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian [14], yang melaporkan bahwa proses pirolisis biomassa merupakan tahap paling dominan dalam kontribusi emisi GRK. Jika dilihat dari pola distribusinya, lebih dari 80% total emisi dihasilkan dari penggunaan energi listrik dan bahan bakar untuk pemanasan [15]. Oleh karena itu, strategi pengurangan emisi dapat dilakukan melalui peningkatan efisiensi tungku karbonisasi atau dengan mengganti sumber energi listrik ke energi terbarukan.

Tabel 2. Hasil Running pada Software SimaPro

Calculation:	Analyze
Results:	Impact assessment
Product:	1 p 1. Running Gate (of project Biobriket)
Method:	IPCC 2021 GWP100 V1.02
Indicator:	Characterization
Skip categories:	Never
Exclude infrastructure processes:	No
Exclude long-term emissions:	No
Sorted on item:	Impact category
Sort order:	Ascending

Impact category	Unit	Total	Transport	Proses Pengering-an Awal	Proses Karbonisasi	Proses Pencampur-an dan Pencetakan	Proses Pengering-an Akhir
GWP100 - fossil	kg CO2 -eq	30,3885	1,448954	0	25,1136	0,05886	3,76704
GWP100 - biogenic	kg CO2 -eq	0,000576	0,000576	0	0	0	0
GWP100 - land transformation	kg CO2 -eq	0,000955	0,000955	0	0	0	0

Sumber : Hasil Analisis, 2025

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perbandingan komposisi bahan baku dan jenis perekat memberikan pengaruh yang cukup besar terhadap kualitas biobriket yang dihasilkan. Semakin banyak penggunaan ampas kopi dalam campuran, kadar air biobriket cenderung menurun dan nilai kalor meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa ampas kopi memiliki potensi energi yang lebih tinggi dibandingkan kulit kopi. Jenis perekat juga memengaruhi hasil akhir, di mana perekat *pulp* mampu menghasilkan biobriket dengan kadar air dan kadar abu yang lebih rendah dibandingkan bentonit. Kondisi tersebut membuat biobriket dengan perekat *pulp* memiliki pembakaran yang lebih efisien dan stabil.

Hasil analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) menunjukkan bahwa tahap karbonisasi merupakan proses dengan kontribusi emisi gas rumah kaca paling tinggi, disusul oleh tahap pengeringan akhir menggunakan oven. Sementara itu, proses transportasi bahan dan pencetakan tidak memberikan kontribusi yang besar terhadap total emisi. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi listrik pada proses pemanasan menjadi faktor utama dalam timbulnya emisi pada produksi biobriket.

Secara keseluruhan, kombinasi bahan 100% ampas kopi dengan perekat *pulp* memberikan hasil paling optimal karena memenuhi standar mutu briket arang sesuai SNI 01-6235-2000, baik dari segi kadar air, kadar abu, maupun nilai kalor. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah ampas kopi dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar padat alternatif yang ramah lingkungan dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung energi terbarukan.

5. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang bisa diperhatikan untuk penelitian selanjutnya. Tahap karbonisasi menjadi bagian yang paling besar menyumbang emisi gas rumah kaca, sehingga proses ini perlu dioptimalkan lagi agar lebih efisien. Penggunaan tungku yang lebih hemat energi atau pemanfaatan panas dari sumber lain, misalnya panas sisa dari proses produksi, bisa menjadi alternatif untuk menurunkan konsumsi listrik dan emisi yang dihasilkan. Selain itu, ke depan perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait analisis emisi gas buang saat biobriket digunakan sebagai bahan bakar.

6. Referensi

- [1] Seco, A., et al. "Characterization of biomass briquettes from spent coffee grounds and xanthan gum using low pressure and temperature." *BioEnergy research* 13.1 (2020): 369-377.
- [2] Fithratullah, Ramadhani. "The Study of Making Biomass Briquettes from Spent Coffee Ground." *Journal of Environmental Engineering and Waste Management* 7.1 (2022): 34-53.
- [3] M. Hafiz, Ismail, and E. A. Pane, "Analisis Energi Pelet Biomassa Berbahan Baku Ampas Kopi Dengan Perikat Bubur Kertas," *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 14, no. 3, pp. 139–145, 2024, doi: 10.35814/teknobiz.v14i3.7839.
- [4] R. Ibrahim Muazu, A. Borrión, and J. Stegemann, "Life Cycle Assessment Model for Biomass Fuel Briquetting," *Waste and Biomass Valorization*, vol. 13, Apr. 2022, doi: 10.1007/s12649-021-01596-7.
- [5] O. F. Obi, R. Pecenka, and M. J. Clifford, "A Review of Biomass Briquette Binders and Quality Parameters," *Energies*, vol. 15, no. 7. 2022, doi: 10.3390/en15072426.
- [6] E. Kurniawan, A. Muarif, and K. A. Siregar, "Pemanfaatan Sekam Padi dan Cangkang Sawit Sebagai Bahan Baku Briket Arang dengan Menggunakan Perikat Tepung Kanji," *Semin. Nas. Pengabd. Masy. LPPM UMJ*, pp. 1–9, 2022.
- [7] A. A. Adeleke, J. K. Odusote, P. P. Ikubanni, A. S. Olabisi, and P. Nzerem, "Briquetting of subbituminous coal and torrefied biomass using bentonite as inorganic binder," *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–11, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-12685-5.
- [8] A. Kaur, A. Kumar, P. Singh, and K. Kundu, "Production, Analysis and Optimization of Low Cost Briquettes from Biomass Residues," *Adv. Res.*, vol. 12, no. 4, pp. 1–10, 2017, doi: 10.9734/air/2017/37630.
- [9] R. Y. Syaifullah *et al.*, "Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Menjadi Biobriket Dengan Inovasi Pembuatan Alat Pembakaran Dan Pencetakan Biobriket Di Desa Tanah Wulan, Maesan Bondowoso," *Dedikasi Jurnal Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 1, pp. 42–52, 2023, doi: 10.31479/dedikasi.v4i1.287.
- [10] Y. Wan, D. Guo, X. Hui, L. Liu, and Y. Yao, "Studies on Hydration Swelling and Bound Water Type of Sodium- And Polymer-Modified Calcium Bentonite," *Adv. Polym. Technol.*, vol. 2020, 2020, doi: 10.1155/2020/9361795.
- [11] S. K. Karmee, "A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites," *Waste Manag.*, vol. 72, pp. 240–254, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.042>.
- [12] V. D. Pratiwi and I. Mukhaimin, "Pengaruh Suhu dan Jenis Perikat Terhadap Kualitas Biobriket dari Ampas Kopi dengan Metode Torefaksi," *CHEESA Chem. Eng. Res. Artic.*, vol. 4, no. 1, p. 39, 2021, doi: 10.25273/cheesa.v4i1.7697.39-50.
- [13] F. Güleç, O. Williams, E. T. Kostas, A. Samson, and E. Lester, "A comprehensive comparative study on the energy application of chars produced from different biomass feedstocks via hydrothermal conversion, pyrolysis, and torrefaction," *Energy Convers. Manag.*, vol. 270, 2022, doi: 10.1016/j.enconman.2022.116260.
- [14] A. I. Juwita, A. Mustafa, and R. Tamrin, "Studi Pemanfaatan Kulit Kopi Arabika (*Coffea Arabica L.*) Sebagai Mikro Organisme Lokal (MOL)," *Agrointek*, vol. 11, no. 1, p. 1, 2017, doi: 10.21107/agrointek.v11i1.2937.
- [15] N. Chaisuwan, N. Kansai, N. Supakata, and S. Papong, "The comparison of environmental impacts of carbonized briquettes from rain tree residues and coffee grounds/tea waste and traditional waste management," *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, vol. 11, no. 1, pp. 48–53, 2020, doi: 10.18178/ijesd.2020.11.1.1224.