MOTEKAR: Jurnal Multidisiplin Teknologi dan Arsitektur
E-ISSN: 3025-227X P-ISSN: 3025-2288
Vol. 4 No. 2 November 2026

Analisis Penghematan Biaya Bahan Bakar Briket GOWES pada Produksi Kemplang di Banyuasin

David Haryanto[1] Herawan Fatoni[2] M Syafii Pratama[3] Ray Ariz Jauhar[4] Sri Wahyuni[5] Rahmi Hidayati[6]
PT PLN Indonesia Power UP Merah Mata PLTG Borang[1,2,3,4]
Kelompok Srikandi Jaya[5]
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa[6]
Email: david.haryanto@plnindonesiapower.co.id[1] herawan.fatoni@plnindonesiapower.co.id[2] msyafii.p@plnindonesiapower.co.id[3] rayarizjauahar@gmail.com[4] sriwahyuni223@gmail.com[5] rahmi.hidayati@untirta.ac.id[6]

Abstrak

Pemanfaatan bahan bakar alternatif berbasis limbah berpotensi meningkatkan efisiensi biaya energi pada usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM), tetapi kelayakan penggunaannya perlu dievaluasi berdasarkan kebutuhan energi dan keluaran produksi yang setara. Penelitian ini bertujuan menganalisis potensi penghematan biaya bahan bakar melalui penggunaan Briket GOWES pada produksi kemplang UMKM Srikandi Jaya di Desa Merah Mata, Kabupaten Banyuasin. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan desain simulasi komparatif berbasis penyetaraan kebutuhan panas. Analisis membandingkan tiga skenario penggunaan bahan bakar, yaitu arang penuh, campuran arang dan Briket GOWES, serta Briket GOWES penuh, dengan satuan produksi 100 buah kemplang matang. Parameter simulasi meliputi nilai kalor bersih, harga bahan bakar, kebutuhan massa, dan efisiensi relatif pemanfaatan panas, disertai analisis sensitivitas dan titik impas biaya. Hasil menunjukkan bahwa pada asumsi efisiensi briket sebesar 90% terhadap arang, biaya bahan bakar menurun dari Rp13.000 menjadi Rp7.000 per 100 buah kemplang pada skenario substitusi penuh, menghasilkan penghematan sebesar 46,15%. Skenario campuran menghasilkan penghematan sebesar 34,62%, sedangkan variasi efisiensi relatif 80–100% menghasilkan potensi penghematan antara 39,42% dan 51,54%. Harga titik impas Briket GOWES diperkirakan sebesar Rp11.143/kg. Temuan ini menunjukkan bahwa perbandingan biaya berbasis kesetaraan panas dapat memberikan dasar evaluasi ekonomi awal bagi UMKM dalam mempertimbangkan bahan bakar alternatif. Namun, hasil tersebut masih bersifat simulatif dan memerlukan validasi eksperimental terhadap karakteristik pembakaran, konsumsi aktual, kualitas sensoris, dan keamanan pangan.
Kata kunci: Briket GOWES; Efisiensi Biaya; Bahan Bakar Alternatif; Simulasi Energi; UMKM Kemplang

Abstract

The utilization of waste-based alternative fuels has the potential to improve energy cost efficiency among micro, small, and medium enterprises (MSMEs). However, the feasibility of their implementation needs to be evaluated based on equivalent energy requirements and production outputs. This study aims to analyze the potential fuel cost savings achieved through the utilization of GOWES Briquettes in the kemplang production process at Srikandi Jaya MSME in Merah Mata Village, Banyuasin Regency, Indonesia. This research employed a descriptive quantitative approach using a comparative simulation design based on equivalent heat requirements. The analysis compared three fuel-use scenarios: full charcoal utilization, a mixture of charcoal and GOWES Briquettes, and full substitution with GOWES Briquettes, using 100 fully cooked kemplang pieces as the production unit. The simulation parameters included net calorific value, fuel prices, mass requirements, and relative heat utilization efficiency, complemented by sensitivity analysis and cost break-even point calculations. The results indicate that, assuming briquette efficiency reaches 90% of charcoal efficiency, fuel costs decrease from IDR 13,000 to IDR 7,000 per 100 pieces of kemplang under the full-substitution scenario, representing a cost reduction of 46.15%. The mixed-fuel scenario yields savings of 34.62%, while variations in relative efficiency ranging from 80% to 100% generate potential savings between 39.42% and 51.54%. The estimated break-even price for GOWES Briquettes is IDR 11,143 per kilogram. These findings demonstrate that heat-equivalence-based cost comparisons can provide an initial economic assessment framework for MSMEs considering the adoption of alternative fuels.

Nevertheless, the findings remain simulation-based and require experimental validation concerning combustion characteristics, actual fuel consumption, sensory quality, and food safety.
Keywords: *GOWES Briquettes; Cost Efficiency; Alternative Fuel; Energy Simulation; Kemplang MSMEs.*



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi dalam kegiatan produksi usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) merupakan salah satu faktor yang memengaruhi efisiensi operasional, keberlanjutan usaha, dan kemampuan pelaku usaha mempertahankan daya saing produknya. Pada industri pangan skala kecil, energi tidak hanya berfungsi sebagai input produksi, tetapi juga menentukan kelancaran proses pengolahan, konsistensi mutu, waktu penyelesaian produksi, dan besarnya biaya yang harus dikeluarkan. Ketergantungan pada bahan bakar konvensional, khususnya arang, menghadapkan pelaku usaha pada persoalan fluktuasi harga, ketersediaan pasokan, dan perbedaan karakteristik pembakaran yang dapat memengaruhi kebutuhan bahan bakar pada setiap siklus produksi. Kondisi tersebut mendorong pengembangan bahan bakar alternatif berbasis biomassa dan limbah organik sebagai bagian dari upaya meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya. Bot et al. (2022) menunjukkan bahwa pengolahan residu pertanian menjadi briket memiliki potensi pemanfaatan energi dan nilai ekonomi, meskipun kelayakannya sangat dipengaruhi oleh kebutuhan energi selama produksi briket, karakteristik bahan baku, dan biaya pengolahannya. Sementara itu, Bot et al. (2022) menemukan bahwa daya saing ekonomi briket biomassa terhadap bahan bakar konvensional dipengaruhi oleh jenis bahan baku, harga bahan bakar pembanding, serta parameter ekonomi yang digunakan dalam analisis. Kedua penelitian tersebut menegaskan bahwa penggunaan bahan bakar alternatif tidak dapat dinilai hanya berdasarkan harga pembelian per kilogram, tetapi perlu mempertimbangkan energi yang dihasilkan dan biaya untuk memenuhi kebutuhan panas tertentu.

Pemanfaatan limbah menjadi briket berkembang sebagai pendekatan pengelolaan sumber daya yang mengintegrasikan pengurangan timbulan limbah dan penyediaan energi alternatif. Berbagai penelitian telah menunjukkan bahwa limbah organik, residu pertanian, dan material berserat dapat diolah menjadi bahan bakar padat dengan karakteristik pembakaran yang beragam. Kizito et al. (2022) mengkaji pemanfaatan campuran lumpur tinja kering dan limbah pasar pangan menjadi briket tanpa karbonisasi, serta menunjukkan bahwa variasi komposisi bahan memengaruhi karakteristik energi produk yang dihasilkan. Penelitian Nikiema et al. (2022) secara lebih spesifik mengidentifikasi bahwa penggunaan limbah makanan yang telah mengalami dekomposisi dapat meningkatkan kepadatan dan nilai kalor bersih briket dibandingkan penggunaan limbah makanan biasa. Penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa pencampuran limbah makanan dengan material berbasis kayu dapat memperbaiki karakteristik bahan bakar. Temuan ini menunjukkan bahwa kemampuan briket menghasilkan energi tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan limbah sebagai bahan baku, tetapi juga oleh komposisi material, kondisi pengolahan, dan karakteristik fisik produk. Dengan demikian, penggunaan limbah makanan sebagai bahan bakar alternatif memerlukan pertimbangan terhadap kualitas energi yang dihasilkan sebelum dinilai kelayakannya untuk kegiatan produksi pangan.

Perkembangan penelitian briket berbasis limbah juga memperlihatkan pentingnya evaluasi karakteristik termal dan emisi pembakaran secara bersamaan. Ferronato et al. (2022) menganalisis briket berbasis biomassa dan limbah karton untuk keperluan pemanasan dan

memasak, serta menemukan bahwa komposisi tertentu dapat menghasilkan efisiensi termal yang lebih baik dan emisi partikulat yang lebih rendah. Ganesan & Vedagiri (2024) memperluas pendekatan tersebut melalui karakterisasi produksi dan emisi briket yang dihasilkan dari pengolahan sampah perkotaan, dengan menempatkan nilai kalor, karakteristik fisik, dan emisi gas buang sebagai parameter penting dalam mengevaluasi bahan bakar alternatif. Sejalan dengan itu, Sanka et al. (2024) menunjukkan bahwa pengolahan dan pencampuran bahan baku tertentu dapat meningkatkan karakteristik energi sekaligus memengaruhi emisi dari briket berbasis limbah. Rangkaian penelitian tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan konversi limbah menjadi bahan bakar tidak secara otomatis menjamin kesesuaian produk untuk seluruh kegiatan pemanasan dan pengolahan pangan. Kinerja briket tetap perlu dipertimbangkan berdasarkan kebutuhan panas, kondisi pembakaran, karakteristik bahan baku, dan kesesuaian penggunaannya pada proses produksi tertentu.

Pada kegiatan pemanggangan pangan, karakteristik bahan bakar memiliki implikasi yang lebih kompleks karena berkaitan dengan efisiensi penggunaan panas dan kondisi pengolahan produk. Mencarelli et al. (2025) menemukan adanya variasi karakteristik dan performa pembakaran pada produk arang dan briket komersial, termasuk perbedaan kadar air, kadar abu, bahan mudah menguap, temperatur pembakaran, dan durasi pembakaran. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa bahan bakar dengan karakteristik fisik dan kimia berbeda dapat menghasilkan perilaku pembakaran yang berbeda pula. Dalam penelitian lainnya, Mencarelli et al. (2025b) menjelaskan bahwa kualitas arang dan briket turut memengaruhi emisi polutan selama pembakaran, sehingga pemilihan bahan bakar untuk kegiatan memasak tidak dapat didasarkan pada pertimbangan energi dan harga semata. Du et al. (2025) turut mengidentifikasi bahwa sumber panas, temperatur, dan durasi pemasakan merupakan faktor yang berkaitan dengan pembentukan hidrokarbon aromatik polisiklik pada pangan yang dipanggang. Meskipun temuan tersebut tidak secara langsung membuktikan perubahan cita rasa kemplang akibat penggunaan Briket GOWES, hasil-hasil penelitian tersebut memperlihatkan bahwa penggantian bahan bakar dalam proses pemanggangan perlu mempertimbangkan konsistensi panas, karakteristik pembakaran, dan keamanan proses pengolahan pangan.

Persoalan tersebut relevan dengan kegiatan produksi kemplang panggang sebagai salah satu produk pangan tradisional yang berkembang pada usaha kecil di Sumatera Selatan. Proses pemanggangan kemplang memerlukan pengaturan panas yang sesuai agar produk dapat mengembang, matang, dan mempertahankan karakteristik fisik yang diharapkan. Bagi pelaku usaha kemplang panggang, biaya bahan bakar bergantung pada harga beli dan jumlah yang diperlukan untuk menyelesaikan satu kali produksi. Bahan bakar yang harganya lebih rendah per kilogram dapat membutuhkan pemakaian lebih banyak untuk memanggang jumlah produk yang sama. Waktu menyiapkan bara dan jumlah produk yang gosong atau tidak mengembang juga menentukan apakah cara pemanggangan tersebut sesuai dengan kebutuhan usaha. Penelitian Darmawi et al. (2021) mengenai pengembangan peralatan pemanggang hemat energi di Sumatera Selatan memberikan konteks tentang pentingnya rancangan peralatan dan pengaturan pembakaran dalam mendukung proses pemanggangan. Namun, pengembangan peralatan perlu diikuti evaluasi terhadap karakteristik dan kebutuhan bahan bakar agar upaya efisiensi dapat dinilai berdasarkan keluaran produksi yang sebanding. Bagi UMKM pengolah kemplang, perhitungan biaya per satuan produk menjadi lebih relevan daripada perbandingan harga bahan bakar secara langsung karena penggunaan bahan bakar dengan nilai kalor dan efisiensi berbeda dapat menghasilkan kebutuhan massa yang tidak sama.

Program SEDULANG PANGAN di Desa Merah Mata, Kecamatan Banyuasin I, Kabupaten Banyuasin, menghubungkan pengolahan sisa makanan dengan kebutuhan bahan bakar usaha

kuliner melalui pengembangan Briket GOWES. Briket tersebut dikembangkan tanpa proses karbonisasi dengan memanfaatkan sisa makanan terpilah dan media kertas *main filter* bekas sebagai material penyusunnya. Program ini telah mencatat kegiatan uji coba pemanggangan pempek dan kemplang bersama Kelompok Srikandi Jaya sebagai bagian dari pemanfaatan bahan bakar alternatif pada kegiatan usaha masyarakat. Dalam konteks operasional UMKM, penggunaan Briket GOWES menghadirkan peluang untuk mengurangi ketergantungan terhadap arang sekaligus memanfaatkan material sisa yang sebelumnya belum digunakan secara optimal. Berdasarkan harga acuan yang digunakan dalam penelitian, arang memiliki harga Rp13.000/kg, sedangkan Briket GOWES sebesar Rp6.000/kg. Perbedaan harga tersebut menunjukkan adanya potensi pengurangan pengeluaran bahan bakar, tetapi belum cukup untuk menyimpulkan bahwa penggunaan briket lebih ekonomis karena kebutuhan bahan bakar juga dipengaruhi oleh nilai kalor dan efisiensi pemanfaatan panas. Selain itu, nilai kalor Briket GOWES sebesar 7.000 kkal/kg yang digunakan dalam penelitian masih merupakan asumsi model dan belum dinyatakan sebagai hasil pengukuran laboratorium terhadap formulasi briket yang digunakan oleh kelompok usaha.

Penelitian mengenai briket biomassa selama beberapa tahun terakhir telah menghasilkan pemahaman yang semakin luas tentang pengaruh komposisi limbah terhadap nilai kalor dan karakteristik pembakaran, efisiensi termal penggunaan bahan bakar alternatif, emisi hasil pembakaran, serta kelayakan ekonomi briket dalam menggantikan bahan bakar konvensional. Akan tetapi, berbagai pendekatan tersebut masih menempatkan karakteristik bahan bakar, proses konversi limbah, kinerja pembakaran, dan kelayakan ekonomi sebagai fokus analisis yang sering dilakukan dalam konteks penggunaan berbeda. Penelitian Nikiema et al. (2022) dan Kizito et al. (2022) misalnya, lebih menekankan karakteristik energi briket berbasis limbah, sedangkan Ferronato et al. (2022) dan Ganesan & Vedagiri (2024) mengintegrasikan evaluasi kinerja termal dengan emisi pembakaran. Sementara itu, Bot et al. (2022, 2023) memberikan dasar analisis ekonomi penggunaan briket, tetapi belum secara spesifik membahas kebutuhan panas untuk menghasilkan jumlah kemplang matang yang setara pada usaha pemanggangan tradisional. Penelitian Mencarelli et al. (2025a, 2025b) memperlihatkan pentingnya karakteristik pembakaran arang dan briket dalam kegiatan pemanggangan, tetapi hasilnya tidak dapat langsung digunakan untuk menentukan besarnya penghematan biaya Briket GOWES pada kondisi produksi UMKM Srikandi Jaya. Perbedaan objek, jenis bahan bakar, parameter pengukuran, dan satuan pembanding tersebut menunjukkan perlunya pendekatan yang menghubungkan kebutuhan energi dengan biaya bahan bakar pada keluaran produksi yang sama, terutama ketika data eksperimen aktual belum tersedia.

Dalam konteks tersebut, perbandingan biaya berdasarkan massa bahan bakar saja berpotensi menghasilkan interpretasi yang kurang tepat karena satu kilogram arang dan satu kilogram briket tidak selalu menyediakan jumlah panas termanfaatkan yang sama. Perhitungan yang mempertimbangkan nilai kalor dan efisiensi relatif memungkinkan kebutuhan massa bahan bakar diperkirakan berdasarkan kebutuhan panas setara, kemudian dikonversi menjadi biaya per satuan produksi. Pendekatan ini juga memungkinkan evaluasi terhadap skenario penggunaan arang secara penuh, campuran arang dan briket, maupun substitusi penuh menggunakan Briket GOWES. Selain itu, pengujian sensitivitas terhadap perubahan efisiensi pemanfaatan panas dapat memberikan gambaran mengenai sejauh mana potensi penghematan tetap bertahan ketika kinerja pembakaran berbeda dari asumsi utama. Dengan menggunakan satuan pembanding 100 buah kemplang matang, analisis dapat diarahkan pada kebutuhan operasional UMKM, bukan hanya pada karakteristik bahan bakar sebagai produk energi. Namun, hasil pendekatan tersebut harus dipahami sebagai estimasi berbasis parameter model dan belum dapat menggantikan pengukuran konsumsi bahan bakar, kinerja pembakaran,

maupun evaluasi sensoris yang dilakukan secara langsung. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis potensi penghematan biaya bahan bakar melalui penggunaan Briket GOWES pada produksi kemplang UMKM Srikandi Jaya di Desa Merah Mata, Kabupaten Banyuasin, dengan pendekatan simulasi komparatif berbasis penyetaraan kebutuhan panas. Analisis dilakukan melalui perbandingan skenario penggunaan arang, campuran arang dan Briket GOWES, serta penggunaan Briket GOWES secara penuh untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Perhitungan mempertimbangkan harga bahan bakar, nilai kalor bersih, kebutuhan massa, dan rasio efisiensi pemanfaatan panas, serta dilengkapi uji sensitivitas untuk mengevaluasi perubahan estimasi penghematan pada kondisi efisiensi yang berbeda. Hasil penelitian diharapkan memberikan dasar penilaian ekonomi awal yang lebih terukur bagi pelaku UMKM dalam mempertimbangkan penggunaan bahan bakar alternatif berbasis limbah, sekaligus menyediakan kerangka perhitungan yang dapat diuji lebih lanjut melalui pengukuran produksi aktual, karakterisasi pembakaran, serta evaluasi karakteristik sensoris dan keamanan produk pangan.

Penelitian Terdahulu yang Relavan

No	Penulis/ Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil	Kontribusi dan Relevansi
1	Nikiema et al. (2022)	*Impact of Material Composition and Food Waste Decomposition on Characteristics of Fuel Briquettes*	Menganalisis pengaruh komposisi dan dekomposisi limbah makanan terhadap karakteristik briket.	Eksperimen pembuatan briket nonkarbonisasi menggunakan berbagai komposisi limbah, disertai pengujian sifat fisik dan pembakaran.	Limbah makanan terdekomposisi meningkatkan kepadatan briket 4% dan nilai kalor bersih 18%, serta menurunkan laju pembakaran 24%.	Memberikan dasar ilmiah penggunaan limbah makanan sebagai bahan baku Briket GOWES dan pentingnya validasi nilai kalor.
2	Ferronato et al. (2022)	*Biomass and Cardboard Waste-Based Briquettes for Heating and Cooking: Thermal Efficiency and Emissions Analysis*	Mengevaluasi efisiensi termal dan emisi briket berbasis biomassa serta limbah karton untuk pemanasan dan memasak.	Eksperimen pembakaran briket dengan variasi komposisi serbuk kayu dan limbah karton, disertai pengukuran efisiensi termal dan emisi.	Komposisi 20% serbuk kayu dan 80% limbah karton menghasilkan efisiensi termal lebih tinggi serta emisi PM2.5 lebih rendah.	Menjadi dasar evaluasi efisiensi pemanfaatan panas dan pertimbangan emisi briket dalam proses pemanggangan kemplang.
3	Bot et al. (2022)	*Energetic and Economic Analysis of Biomass Briquettes Production from Agricultural Residues*	Menganalisis konsumsi energi dan kelayakan ekonomi produksi briket dari residu pertanian.	Analisis neraca energi, pendekatan daur hidup, evaluasi ekonomi, dan analisis sensitivitas pada produksi briket skala kecil.	Kebutuhan energi produksi bervariasi menurut bahan baku, sedangkan biaya tenaga kerja merupakan salah satu komponen biaya terbesar.	Mendukung analisis ekonomi dan sensitivitas biaya Briket GOWES, sekaligus menegaskan pentingnya membedakan biaya produksi briket dari biaya penggunaannya oleh UMKM.
4	Kizito et al. (2022)	*Biofuel Characteristics of Non-Charred Briquettes from Dried Fecal Sludge Blended with Food Market Waste: Suggesting a Waste-*	Mengevaluasi karakteristik energi briket nonkarbonisasi dari campuran lumpur tinja kering dan	Eksperimen formulasi dan karakterisasi briket dengan variasi campuran bahan baku, termasuk pengujian kadar	Pencampuran limbah menurunkan kadar abu sebesar 43–87% dan menghasilkan nilai kalor sekitar 11,7–17,9 MJ/kg.	Memberikan pembanding teknis penggunaan limbah organik dalam briket nonkarbonisasi, terutama

		to-Biofuel Enterprise as a Win–Win Strategy to Solve Energy and Sanitation Problems in Slums Settlements	limbah pasar pangan.	abu dan nilai kalor.		mengenai pengaruh formulasi terhadap kualitas bahan bakar.
5	Ganesan dan Vedagiri (2024)	*Production and Emission Characterization of Briquette for Sustainable Development: MSW Transformation*	Mengevaluasi produksi serta karakteristik emisi briket berbahan sampah perkotaan sebagai alternatif pemanfaatan limbah.	Penelitian eksperimental melalui pembuatan dan karakterisasi briket serta evaluasi parameter pembakaran dan emisi.	Menunjukkan potensi konversi sampah perkotaan menjadi bahan bakar padat, tetapi peningkatan kualitas produk dan kelayakan ekonominya masih memerlukan kajian lanjutan.	Memperkuat kebutuhan evaluasi karakteristik pembakaran dan emisi Briket GOWES sebelum penggunaannya dikembangkan lebih luas pada pengolahan pangan.

Sumber: Diolah oleh penulis (2026) dari Nikiema et al. (2022), Ferronato et al. (2022), Bot et al. (2022), Kizito et al. (2022), dan Ganesan dan Vedagiri (2024).

METODE PENELITIAN

Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan desain simulasi komparatif berbasis penyetaraan kebutuhan energi panas (*simulation-based comparative energy and cost analysis*). Pendekatan ini digunakan untuk menganalisis potensi penghematan biaya bahan bakar melalui penggunaan Briket GOWES sebagai alternatif arang konvensional dalam proses pemanggangan kemplang. Analisis dilakukan dengan membandingkan kebutuhan massa bahan bakar, nilai kalor bersih, harga satuan, dan efisiensi relatif pemanfaatan panas untuk menghasilkan keluaran produksi yang setara. Desain simulasi dipilih karena data pengukuran aktual mengenai konsumsi bahan bakar, nilai kalor Briket GOWES, dan efisiensi pembakaran pada kegiatan produksi UMKM belum tersedia secara lengkap. Dengan demikian, penelitian ini menghasilkan estimasi biaya berdasarkan parameter model, bukan pengukuran eksperimental terhadap kinerja aktual bahan bakar.

Penelitian berfokus pada penggunaan Briket GOWES yang dikembangkan melalui Program SEDULANG PANGAN pada UMKM Srikandi Jaya di Desa Merah Mata, Kecamatan Banyuasin I, Kabupaten Banyuasin, Sumatera Selatan. Briket GOWES dibuat melalui pemanfaatan sisa makanan terpilah dan media kertas *main filter* bekas tanpa proses karbonisasi. Unit analisis ditetapkan berdasarkan kebutuhan biaya bahan bakar untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang dengan asumsi penggunaan resep, ukuran produk, alat pemanggang, dan kebutuhan panas yang sama. Penetapan satuan produksi tersebut bertujuan memastikan bahwa perbandingan biaya dilakukan berdasarkan keluaran yang setara, bukan hanya berdasarkan perbedaan harga bahan bakar per kilogram.

Sumber Data dan Parameter Penelitian

Data penelitian diperoleh dari informasi Program SEDULANG PANGAN, harga acuan bahan bakar yang digunakan dalam kajian UMKM, serta literatur ilmiah mengenai karakteristik energi biomassa. Informasi program digunakan untuk menjelaskan karakteristik pengembangan Briket GOWES dan konteks penggunaannya pada kegiatan produksi kemplang, sedangkan data numerik digunakan sebagai parameter dasar dalam simulasi. Penelitian ini tidak menggunakan data konsumsi bahan bakar hasil eksperimen berulang sehingga seluruh perhitungan didasarkan pada asumsi yang dinyatakan secara eksplisit.

Konsumsi dasar arang ditetapkan sebesar 1,00 kg untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Nilai kalor bersih arang diasumsikan sebesar 7.350 kkal/kg berdasarkan pembulatan acuan energi 30,8 MJ/kg dalam publikasi FAO (Drigo, 2005), sedangkan nilai kalor bersih Briket GOWES ditetapkan sebesar 7.000 kkal/kg atau sekitar 29,3 MJ/kg. Harga arang menggunakan acuan Rp13.000/kg dan harga Briket GOWES sebesar Rp6.000/kg. Pada skenario utama, efisiensi pemanfaatan panas Briket GOWES diasumsikan mencapai 90% dari efisiensi arang. Nilai kalor briket, konsumsi awal arang, dan efisiensi relatif tersebut merupakan parameter simulasi yang belum diverifikasi melalui pengukuran langsung pada proses pemanggangan UMKM Srikandi Jaya.

Tabel 2. Parameter Dasar Simulasi Penggunaan Bahan Bakar

Parameter	Arang	Briket GOWES	Satuan
Nilai kalor bersih	7.350	7.000	kkal/kg
Harga bahan bakar	13.000	6.000	Rp/kg
Efisiensi relatif	100	90	%
Konsumsi bahan bakar dasar	1,00	Ditentukan melalui penyetaraan panas	kg
Keluaran produksi	100	100	buah kemplang matang

Sumber: Diolah berdasarkan parameter simulasi penelitian, Drigo (2005), dan informasi Program SEDULANG PANGAN (2026)

Prosedur Simulasi dan Perbandingan Biaya Bahan Bakar

Simulasi dilakukan dengan menggunakan prinsip penyetaraan panas termanfaatkan agar setiap skenario penggunaan bahan bakar menghasilkan kebutuhan energi pemanggangan yang sebanding. Tahap awal dilakukan dengan menetapkan konsumsi 1,00 kg arang sebagai kondisi dasar untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Kebutuhan Briket GOWES kemudian ditentukan berdasarkan perbandingan nilai kalor bersih arang dan briket dengan mempertimbangkan rasio efisiensi relatif pemanfaatan panas. Pendekatan ini digunakan karena bahan bakar dengan harga lebih rendah per kilogram belum tentu menghasilkan biaya pemanggangan yang lebih rendah apabila kebutuhan massanya lebih besar. Perbandingan dilakukan melalui tiga skenario penggunaan bahan bakar. Skenario pertama menggunakan arang secara penuh sebagai kondisi dasar dengan konsumsi 1,00 kg. Skenario kedua menggunakan campuran arang dan Briket GOWES dengan mempertahankan 0,25 kg arang dan menggantikan kebutuhan panas yang setara dengan 0,75 kg arang menggunakan briket. Pada skenario ketiga, seluruh kebutuhan panas yang sebelumnya dipenuhi oleh arang digantikan menggunakan Briket GOWES. Dengan nilai kalor dan efisiensi relatif yang ditetapkan, kebutuhan briket diperkirakan sebesar 0,875 kg pada skenario campuran dan 1,167 kg pada skenario penggantian penuh. Perhitungan biaya dilakukan dengan mengalikan massa masing-masing bahan bakar dengan harga acuan per kilogram, kemudian menjumlahkan seluruh pengeluaran bahan bakar pada setiap skenario. Besarnya penghematan ditentukan berdasarkan selisih antara biaya penggunaan arang sebagai kondisi dasar dan biaya pada skenario campuran maupun briket penuh. Persentase penghematan dihitung terhadap biaya arang awal untuk menunjukkan proporsi penurunan biaya yang diperkirakan. Seluruh perhitungan menggunakan nilai massa sebelum pembulatan, sedangkan penyajian hasil dilakukan dalam tiga angka desimal untuk massa bahan bakar dan rupiah terdekat untuk biaya. Model mengasumsikan bahwa kontribusi panas arang dan Briket GOWES pada skenario campuran dapat dijumlahkan secara langsung. Selain itu, tidak diperhitungkan penggunaan LPG atau bahan penyala berbayar, perubahan efisiensi akibat interaksi kedua bahan bakar, maupun pengaruh perbedaan kondisi alat pemanggang. Oleh karena itu, hasil perbandingan menggambarkan estimasi biaya bahan bakar berdasarkan kesetaraan panas secara teoritis dan belum mencerminkan keseluruhan kondisi operasional produksi aktual.

Analisis Sensitivitas dan Titik Impas Biaya

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui perubahan kebutuhan massa dan biaya penggunaan Briket GOWES ketika efisiensi pemanfaatan panas berbeda dari asumsi utama. Pengujian dilakukan menggunakan tiga tingkat efisiensi relatif terhadap arang, yaitu 80%, 90%, dan 100%, dengan mempertahankan nilai kalor bersih dan harga bahan bakar yang sama. Pada setiap tingkat efisiensi, kebutuhan massa briket dihitung kembali berdasarkan energi panas yang harus dipenuhi untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Selanjutnya, biaya penggunaan briket dan persentase penghematan dibandingkan dengan kondisi dasar penggunaan arang. Selain perubahan efisiensi, analisis dilakukan untuk mengidentifikasi harga titik impas (*break-even fuel price*) Briket GOWES. Titik impas merupakan kondisi ketika biaya penggunaan briket secara penuh sama dengan biaya penggunaan arang untuk menghasilkan keluaran produksi yang setara. Harga titik impas diperoleh dengan membandingkan biaya arang pada kondisi dasar terhadap kebutuhan massa Briket GOWES yang telah disesuaikan dengan nilai kalor dan efisiensi relatifnya. Analisis ini digunakan untuk menentukan batas harga briket yang masih memungkinkan penghematan biaya pada parameter simulasi yang ditetapkan. Interpretasi sensitivitas diarahkan pada perubahan potensi penghematan akibat variasi efisiensi dan batas harga ekonomis briket. Dengan demikian, analisis tidak hanya membandingkan biaya pada satu kondisi asumsi, tetapi juga memberikan gambaran mengenai ketergantungan hasil simulasi terhadap parameter efisiensi pemanfaatan panas dan harga bahan bakar.

Teknik Pengolahan dan Analisis Data

Data dianalisis secara kuantitatif deskriptif melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan. Tahap pertama meliputi identifikasi dan penetapan parameter dasar, yaitu nilai kalor bersih, harga satuan bahan bakar, konsumsi arang awal, serta efisiensi relatif Briket GOWES. Tahap kedua dilakukan dengan menentukan kebutuhan massa bahan bakar alternatif melalui penyetaraan energi panas pada setiap skenario. Tahap ketiga mencakup perhitungan biaya bahan bakar dan persentase penghematan untuk masing-masing skenario penggunaan. Tahap keempat dilakukan melalui analisis sensitivitas efisiensi dan penentuan harga titik impas untuk mengevaluasi kondisi ekonomi penggunaan Briket GOWES. Hasil pengolahan disajikan dalam bentuk tabel perbandingan konsumsi bahan bakar, biaya pemanggangan per 100 buah kemplang, persentase penghematan, dan perubahan biaya pada berbagai tingkat efisiensi relatif. Analisis dilakukan menggunakan pendekatan deterministik, yaitu setiap kombinasi parameter menghasilkan satu nilai estimasi berdasarkan asumsi yang telah ditetapkan. Penelitian tidak menggunakan pengujian signifikansi statistik karena tidak melibatkan percobaan berulang atau data pengukuran produksi yang memungkinkan estimasi variasi empiris. Interpretasi hasil difokuskan pada besarnya potensi penghematan, kondisi penggunaan bahan bakar yang lebih ekonomis, dan keterbatasan asumsi yang memengaruhi hasil perhitungan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Perbandingan Kebutuhan Bahan Bakar pada Proses Pemanggangan Kemplang

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan Briket GOWES sebagai alternatif arang konvensional menghasilkan perbedaan kebutuhan massa bahan bakar untuk mencapai keluaran produksi yang setara. Perhitungan dilakukan berdasarkan kebutuhan panas untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang, dengan mempertimbangkan nilai kalor bersih masing-masing bahan bakar dan rasio efisiensi relatif pemanfaatan panas. Pada kondisi dasar,

konsumsi arang ditetapkan sebesar 1,00 kg dengan nilai kalor bersih 7.350 kkal/kg. Sementara itu, Briket GOWES menggunakan asumsi nilai kalor bersih 7.000 kkal/kg dan efisiensi pemanfaatan panas sebesar 90% dari efisiensi arang. Perbedaan tersebut menyebabkan kebutuhan massa Briket GOWES lebih besar dibandingkan arang ketika kedua bahan bakar digunakan untuk memenuhi kebutuhan panas yang sama. Pada skenario penggunaan arang penuh, kebutuhan bahan bakar ditetapkan sebesar 1,00 kg untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Pada skenario campuran, penggunaan 0,25 kg arang memerlukan tambahan Briket GOWES sebesar 0,875 kg untuk menggantikan kebutuhan panas yang setara dengan 0,75 kg arang. Sementara itu, pada skenario penggantian penuh, kebutuhan Briket GOWES meningkat menjadi sekitar 1,167 kg. Hasil tersebut menunjukkan bahwa substitusi penuh membutuhkan tambahan massa bahan bakar sekitar 16,67% dibandingkan kondisi dasar penggunaan arang. Peningkatan kebutuhan massa tersebut merupakan konsekuensi matematis dari nilai kalor briket yang lebih rendah dan asumsi efisiensi pemanfaatan panas yang belum setara dengan arang. Meskipun kebutuhan massa Briket GOWES lebih besar, perbedaan harga pembelian bahan bakar berpotensi menghasilkan biaya yang lebih rendah. Pada harga acuan Rp13.000/kg untuk arang dan Rp6.000/kg untuk Briket GOWES, peningkatan konsumsi massa briket tidak secara langsung menyebabkan peningkatan pengeluaran bahan bakar. Kondisi ini memperlihatkan pentingnya penggunaan satuan perbandingan berdasarkan keluaran produksi, karena harga bahan bakar per kilogram tidak sepenuhnya mencerminkan biaya energi yang diperlukan untuk menyelesaikan proses pemanggangan.

Perbandingan Biaya Penggunaan Arang, Campuran, dan Briket GOWES

Perhitungan biaya dilakukan dengan mengalikan kebutuhan massa bahan bakar pada masing-masing skenario dengan harga acuan per kilogram. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penggunaan arang penuh membutuhkan biaya Rp13.000 untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Pada skenario campuran, penggunaan 0,25 kg arang membutuhkan biaya Rp3.250 dan penggunaan 0,875 kg Briket GOWES membutuhkan biaya Rp5.250, sehingga total biaya bahan bakar menjadi Rp8.500. Sementara itu, penggunaan Briket GOWES secara penuh menghasilkan estimasi biaya sebesar Rp7.000.

Tabel 3. Perbandingan Kebutuhan dan Biaya Bahan Bakar per 100 Buah Kemplang

Indikator	Arang penuh	Campuran	Briket GOWES penuh
Kemplang matang (buah)	100	100	100
Konsumsi arang (kg)	1,000	0,250	0,000
Konsumsi Briket GOWES (kg)	0,000	0,875	1,167
Biaya arang (Rp)	13.000	3.250	0
Biaya Briket GOWES (Rp)	0	5.250	7.000
Total biaya bahan bakar (Rp)	13.000	8.500	7.000
Penghematan biaya (Rp)	0	4.500	6.000
Penghematan (%)	0,00	34,62	46,15

Sumber: Hasil pengolahan simulasi penelitian (2026). Kebutuhan massa dihitung berdasarkan kesetaraan panas dengan rasio efisiensi Briket GOWES sebesar 90% terhadap arang. Biaya disajikan dalam rupiah terdekat

Berdasarkan Tabel 3, skenario penggunaan Briket GOWES penuh memberikan estimasi penghematan terbesar, yaitu Rp6.000 atau 46,15% dibandingkan penggunaan arang. Sementara itu, skenario campuran menghasilkan penghematan sebesar Rp4.500 atau 34,62%. Perbedaan tersebut memperlihatkan bahwa substitusi sebagian maupun seluruh kebutuhan bahan bakar dengan Briket GOWES berpotensi mengurangi biaya pembelian bahan bakar pada parameter simulasi yang ditetapkan. Apabila biaya dikonversi berdasarkan jumlah produk,

penggunaan arang membutuhkan biaya bahan bakar sebesar Rp130 per buah kemplang. Skenario campuran menurunkan estimasi biaya menjadi Rp85 per buah, sedangkan penggunaan Briket GOWES penuh menghasilkan biaya sekitar Rp70 per buah. Perbedaan biaya satuan ini menunjukkan bahwa penghematan bahan bakar dapat menjadi pertimbangan operasional bagi UMKM yang memproduksi kemplang secara berulang. Namun, nilai tersebut belum memperhitungkan biaya tenaga kerja, waktu pemanggangan, penyusutan peralatan, dan kemungkinan perubahan jumlah produk layak jual. Oleh karena itu, hasilnya hanya mencerminkan efisiensi biaya pembelian bahan bakar berdasarkan model, bukan penurunan keseluruhan biaya produksi atau peningkatan keuntungan usaha yang telah terukur.

Analisis Sensitivitas Efisiensi Pemanfaatan Panas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui perubahan kebutuhan massa dan biaya Briket GOWES ketika efisiensi pemanfaatan panas berbeda dari asumsi utama. Pengujian menggunakan tiga tingkat efisiensi relatif, yaitu 80%, 90%, dan 100% terhadap efisiensi arang, dengan mempertahankan nilai kalor serta harga bahan bakar yang sama. Perhitungan difokuskan pada skenario penggantian penuh untuk menunjukkan hubungan antara efisiensi pembakaran dan potensi penghematan biaya.

Tabel 4. Sensitivitas Biaya pada Skenario Penggunaan Briket GOWES Penuh

Efisiensi briket relatif terhadap arang	Kebutuhan briket (kg)	Biaya bahan bakar (Rp)	Penghematan (Rp)	Penghematan (%)
80%	1,313	7.875	5.125	39,42
90%	1,167	7.000	6.000	46,15
100%	1,050	6.300	6.700	51,54

Sumber: Hasil pengolahan simulasi penelitian (2026). Harga Briket GOWES ditetapkan sebesar Rp6.000/kg dan harga arang sebesar Rp13.000/kg

Tabel 4 menunjukkan bahwa perubahan efisiensi relatif berpengaruh terhadap kebutuhan massa dan biaya penggunaan Briket GOWES. Pada efisiensi 80%, kebutuhan briket meningkat menjadi sekitar 1,313 kg dengan biaya Rp7.875 dan penghematan sebesar 39,42%. Ketika efisiensi meningkat menjadi 90%, kebutuhan massa menurun menjadi 1,167 kg dan biaya berkurang menjadi Rp7.000, sehingga penghematan mencapai 46,15%. Pada efisiensi 100%, kebutuhan briket menjadi 1,050 kg dengan biaya Rp6.300 dan penghematan sebesar 51,54%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa potensi penghematan biaya tetap muncul pada ketiga tingkat efisiensi yang dianalisis. Namun, besarnya penghematan berubah mengikuti kemampuan bahan bakar dalam menyediakan panas termanfaatkan. Semakin rendah efisiensi relatif Briket GOWES, semakin besar massa bahan bakar yang diperlukan untuk menggantikan kebutuhan panas dari arang. Sebaliknya, peningkatan efisiensi relatif mengurangi kebutuhan massa dan biaya pembelian bahan bakar. Temuan ini memperjelas bahwa harga satuan yang lebih rendah merupakan faktor penting, tetapi hasil ekonomi juga bergantung pada kinerja pemanfaatan panas. Perlu ditekankan bahwa perubahan efisiensi tersebut merupakan skenario hipotetis, bukan hasil pengukuran performa pembakaran Briket GOWES pada kondisi produksi aktual. Pengujian laboratorium dan percobaan pemanggangan diperlukan untuk menentukan efisiensi relatif yang paling mendekati karakteristik bahan bakar dan peralatan yang digunakan UMKM Srikandi Jaya.

Analisis Sensitivitas Harga dan Titik Impas Biaya Briket GOWES

Selain efisiensi pemanfaatan panas, harga pembelian Briket GOWES menjadi faktor yang memengaruhi besarnya penghematan biaya. Untuk memperluas interpretasi ekonomi, dilakukan simulasi tambahan dengan mengubah harga Briket GOWES pada skenario

penggantian penuh, sementara kebutuhan massa dipertahankan pada sekitar 1,167 kg berdasarkan rasio efisiensi relatif 90%. Analisis ini memberikan gambaran mengenai perubahan potensi penghematan apabila harga bahan bakar alternatif mengalami kenaikan atau penurunan.

Tabel 5. Sensitivitas Harga Briket GOWES terhadap Biaya Pemanggangan

Harga Briket GOWES (Rp/kg)	Total biaya per 100 kemplang (Rp)	Penghematan terhadap arang (%)
4.000	4.667	64,10
6.000	7.000	46,15
8.000	9.333	28,21
10.000	11.667	10,26
12.000	14.000	−7,69

Sumber: Hasil simulasi sensitivitas harga berdasarkan asumsi efisiensi relatif 90% dan biaya arang Rp13.000 per 100 buah kemplang (2026). Nilai negatif menunjukkan biaya briket lebih tinggi daripada arang

Hasil pada Tabel 5 menunjukkan bahwa penghematan biaya menurun seiring meningkatnya harga Briket GOWES. Pada harga Rp4.000/kg, potensi penghematan mencapai 64,10%, sedangkan pada harga Rp8.000/kg penghematan menurun menjadi 28,21%. Ketika harga meningkat menjadi Rp10.000/kg, penggunaan briket masih memberikan penghematan sebesar 10,26%. Namun, pada harga Rp12.000/kg, biaya penggunaan briket diperkirakan mencapai Rp14.000 per 100 buah kemplang atau sekitar 7,69% lebih tinggi dibandingkan penggunaan arang. Berdasarkan kondisi utama, harga titik impas penggunaan Briket GOWES diperkirakan sebesar Rp11.143/kg. Pada harga tersebut, total biaya penggunaan briket setara dengan biaya arang sebesar Rp13.000 untuk menghasilkan 100 buah kemplang matang. Dengan demikian, penggunaan Briket GOWES secara penuh berpotensi lebih ekonomis ketika harga pembeliannya berada di bawah batas tersebut, sepanjang nilai kalor, efisiensi relatif, dan kebutuhan panas sesuai dengan asumsi model. Perhitungan titik impas menunjukkan bahwa keuntungan ekonomi Briket GOWES tidak bersifat mutlak, melainkan bergantung pada hubungan antara harga, kebutuhan massa, dan efisiensi pemanfaatan panas. Harga titik impas tersebut juga tidak dapat diperlakukan sebagai standar harga universal karena dapat berubah apabila nilai kalor aktual, jenis arang, kondisi alat pemanggang, atau efisiensi pembakaran berbeda. Oleh karena itu, analisis titik impas berfungsi sebagai dasar pertimbangan ekonomi awal untuk membantu pelaku UMKM mengevaluasi batas harga pembelian bahan bakar alternatif.

Pembahasan

Efisiensi Biaya Bahan Bakar dan Implikasinya terhadap Operasional UMKM

Hasil simulasi memperlihatkan bahwa Briket GOWES berpotensi mengurangi biaya bahan bakar pemanggangan kemplang meskipun kebutuhan massanya lebih besar dibandingkan arang. Pada skenario utama, substitusi penuh menghasilkan penghematan sebesar 46,15%, sedangkan penggunaan campuran menghasilkan penghematan sebesar 34,62%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penilaian ekonomi bahan bakar alternatif perlu mempertimbangkan biaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan panas termanfaatkan yang setara, bukan hanya perbedaan harga pembelian per kilogram. Bagi usaha kecil, pendekatan ini relevan karena pengeluaran energi berkaitan langsung dengan biaya operasional pada setiap siklus produksi. Temuan simulatif tersebut sejalan dengan penelitian Bot et al. (2022) yang menempatkan karakteristik energi dan komponen biaya sebagai faktor penting dalam menilai kelayakan ekonomi briket biomassa. Penelitian tersebut memperlihatkan bahwa pemanfaatan residu pertanian menjadi briket memiliki potensi ekonomi, tetapi hasilnya dipengaruhi oleh

jenis bahan baku, kebutuhan energi produksi, dan struktur biaya pengolahan. Perbedaannya, penelitian Bot et al. menitikberatkan analisis pada proses produksi briket dari residu pertanian, sedangkan penelitian ini mengevaluasi potensi penghematan dari perspektif pengguna akhir, yaitu UMKM pengolah kemplang. Perbedaan perspektif tersebut penting karena bahan bakar yang layak secara ekonomi untuk diproduksi belum tentu memiliki biaya penggunaan yang lebih rendah pada seluruh kondisi operasional.

Ferronato et al. (2022) juga menunjukkan bahwa penggunaan briket berbasis limbah sebagai bahan bakar memasak memerlukan evaluasi efisiensi termal dan karakteristik pembakaran. Penelitian mereka menemukan bahwa formulasi briket berbasis karton dan serbuk kayu tertentu dapat meningkatkan efisiensi termal, meskipun waktu pemanasan dapat menjadi lebih panjang dibandingkan penggunaan kayu bakar. Temuan tersebut memberikan konteks bahwa peningkatan efisiensi penggunaan energi tidak selalu diikuti percepatan proses pemanasan. Dalam konteks pemanggangan kemplang, kondisi serupa perlu diperhatikan karena potensi penghematan biaya pembelian Briket GOWES dapat berkurang apabila proses penyiapan bara atau pemanggangan membutuhkan waktu yang lebih panjang sehingga meningkatkan biaya tenaga kerja. Hasil penelitian ini juga menunjukkan adanya perbedaan antara penghematan biaya bahan bakar dan efisiensi produksi secara keseluruhan. Pada skenario utama, biaya pembelian bahan bakar berkurang dari Rp13.000 menjadi Rp7.000 per 100 buah kemplang. Namun, penghematan tersebut belum menunjukkan perubahan biaya produksi total karena komponen waktu kerja, kehilangan bahan bakar, pemeliharaan peralatan, dan tingkat keberhasilan produk belum dihitung. Oleh karena itu, hasil simulasi lebih tepat digunakan sebagai indikator potensi penghematan biaya langsung bahan bakar dibandingkan sebagai dasar untuk menyatakan bahwa penggunaan Briket GOWES telah meningkatkan profitabilitas UMKM Srikandi Jaya.

Karakteristik Briket Berbasis Limbah dan Ketepatan Asumsi Nilai Kalor

Penggunaan nilai kalor bersih sebesar 7.000 kkal/kg dalam simulasi menunjukkan bahwa karakteristik energi Briket GOWES menjadi salah satu parameter yang paling menentukan hasil perbandingan biaya. Nilai tersebut diperlakukan sebagai asumsi model dan belum dikonfirmasi melalui pengujian laboratorium pada formulasi briket yang digunakan dalam program. Hal ini perlu diperhatikan karena Briket GOWES dikembangkan dari sisa makanan terpilah dan media kertas *main filter* bekas melalui proses nonkarbonisasi, sehingga karakteristik energi aktual dapat dipengaruhi oleh variasi komposisi, kadar air, kadar abu, dan kondisi pengolahan bahan baku. Nikiema et al. (2022) menunjukkan bahwa komposisi material dan tingkat dekomposisi limbah makanan memengaruhi karakteristik briket nonkarbonisasi. Penggunaan limbah makanan terdekomposisi dalam penelitian tersebut menghasilkan peningkatan kepadatan sekitar 4% dan nilai kalor bersih sebesar 18%, disertai penurunan laju pembakaran sebesar 24% dibandingkan limbah makanan biasa. Penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa pencampuran limbah makanan dengan material berbasis kayu dapat memperbaiki karakteristik bahan bakar. Temuan ini memperjelas bahwa limbah makanan dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku energi, tetapi kualitas produk yang dihasilkan tidak dapat dianggap seragam untuk seluruh formulasi.

Penelitian Kizito et al. (2022) turut menunjukkan bahwa pencampuran bahan organik yang berbeda pada pembuatan briket nonkarbonisasi menghasilkan variasi karakteristik bahan bakar. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan material limbah tidak secara otomatis menghasilkan sifat energi yang sama dengan bahan bakar padat konvensional. Sementara itu, Ganesan & Vedagiri (2024) memperlihatkan pentingnya karakterisasi produk dan emisi dalam pengembangan briket berbasis sampah perkotaan. Kedua penelitian tersebut memperkuat

kebutuhan untuk melakukan pengukuran karakteristik Briket GOWES secara langsung sebelum parameter energi yang digunakan dalam simulasi diterapkan sebagai dasar pengambilan keputusan produksi. Dalam konteks penelitian ini, ketidakpastian nilai kalor berpotensi memengaruhi estimasi kebutuhan massa bahan bakar. Apabila nilai kalor aktual Briket GOWES lebih rendah daripada asumsi 7.000 kkal/kg, massa yang diperlukan untuk menghasilkan panas setara akan meningkat. Sebaliknya, nilai kalor yang lebih tinggi dapat mengurangi kebutuhan massa. Oleh karena itu, hasil penghematan biaya sebesar 46,15% harus dipahami sebagai estimasi bersyarat yang valid dalam batas parameter simulasi, bukan sebagai bukti karakteristik pembakaran aktual Briket GOWES.

Sensitivitas Efisiensi, Harga, dan Ketahanan Potensi Penghematan

Analisis sensitivitas memperlihatkan bahwa potensi penghematan biaya Briket GOWES dipengaruhi oleh perubahan efisiensi relatif pemanfaatan panas. Pada rasio efisiensi 80%, penggunaan briket penuh diperkirakan masih menghasilkan penghematan sebesar 39,42%, sedangkan pada rasio 100% penghematan meningkat menjadi 51,54%. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi pemanfaatan panas dapat memperbaiki kinerja ekonomi bahan bakar alternatif karena kebutuhan massa untuk menghasilkan keluaran yang sama menjadi lebih rendah. Mencarelli et al. (2025a) menemukan bahwa karakteristik produk arang dan briket komersial, termasuk komposisi material dan sifat pembakaran, dapat menghasilkan variasi kinerja selama proses pemanggangan. Hasil penelitian tersebut memberikan dasar empiris bahwa kinerja bahan bakar tidak hanya ditentukan oleh nilai kalor, tetapi juga oleh karakteristik fisik dan perilaku pembakarannya. Dengan demikian, variasi efisiensi dalam simulasi Briket GOWES tidak dapat dilepaskan dari kemungkinan pengaruh kondisi bara, kerapatan bahan bakar, kadar air, dan karakteristik alat pemanggang.

Temuan sensitivitas harga juga menunjukkan bahwa keuntungan ekonomi Briket GOWES memiliki batas tertentu. Pada rasio efisiensi utama 90%, harga titik impas diperkirakan sebesar Rp11.143/kg. Harga acuan Rp6.000/kg berada di bawah nilai tersebut sehingga menghasilkan penghematan dalam model. Namun, ketika harga meningkat menjadi Rp12.000/kg, biaya penggunaan briket justru lebih tinggi daripada arang. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa kesimpulan mengenai biaya penggunaan briket yang lebih rendah perlu mempertimbangkan kondisi harga dan efisiensi secara bersamaan. Analisis ini melengkapi pendekatan evaluasi ekonomi briket yang dikembangkan oleh Bot et al. (2022) dengan menempatkan perubahan harga pembelian dan efisiensi termal sebagai faktor yang menentukan kelayakan pada tingkat penggunaan akhir. Dalam konteks UMKM Srikandi Jaya, informasi mengenai harga titik impas dan sensitivitas efisiensi dapat digunakan sebagai dasar evaluasi awal ketika terjadi perubahan harga bahan bakar atau ketika hasil pengujian menunjukkan kinerja pembakaran yang berbeda dari asumsi. Namun, keputusan substitusi bahan bakar tetap perlu mempertimbangkan biaya operasional lain serta kualitas produk yang dihasilkan.

Penggunaan Briket GOWES dan Karakteristik Sensoris Kemplang

Informasi Program SEDULANG PANGAN menunjukkan bahwa Briket GOWES telah digunakan dalam kegiatan uji coba pemanggangan pempek dan kemplang bersama Kelompok Srikandi Jaya. Berdasarkan informasi wawancara yang dicantumkan dalam dokumen program penelitian tahun 2026, kegiatan uji coba tersebut mengindikasikan adanya persepsi mengenai aroma dan cita rasa yang berbeda pada produk kemplang yang dipanggang menggunakan Briket GOWES. Informasi tersebut memberikan gambaran awal mengenai pengalaman penggunaan bahan bakar alternatif dalam proses pemanggangan, tetapi belum dapat digunakan sebagai bukti perubahan kualitas sensoris yang terukur. Perubahan aroma atau cita

rasa pada produk pangan yang dipanggang tidak dapat dihubungkan secara langsung dengan jenis bahan bakar tanpa mempertimbangkan temperatur, durasi pemanasan, kondisi bara, intensitas paparan asap, dan karakteristik produk. Mencarelli et al. (2025a) menunjukkan adanya variasi performa pembakaran pada produk arang dan briket dengan karakteristik berbeda. Sementara itu, Mencarelli et al., (2025b) menemukan bahwa kualitas bahan bakar arang juga memengaruhi karakteristik emisi selama proses pemanggangan. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa bahan bakar merupakan salah satu faktor yang dapat memengaruhi lingkungan termal dan kondisi pembakaran, meskipun perubahan karakteristik sensoris produk harus dibuktikan melalui pengujian khusus.

Dalam penelitian ini, belum dilakukan pengujian sensoris menggunakan panelis, instrumen penilaian terstruktur, maupun analisis perbandingan antara kemplang yang dipanggang menggunakan arang dan Briket GOWES. Oleh karena itu, informasi mengenai aroma dan cita rasa diposisikan sebagai temuan eksploratif dari kegiatan program, bukan sebagai hasil pengujian efektivitas terhadap kualitas produk. Pengujian lanjutan diperlukan untuk mengevaluasi rasa, aroma, tekstur, tingkat kematangan, dan penerimaan konsumen dengan menggunakan sampel yang diproses pada kondisi pemanggangan yang terkontrol. Selain karakteristik sensoris, penggunaan bahan bakar berbasis limbah dalam kegiatan pengolahan pangan memerlukan perhatian terhadap keamanan bahan baku dan emisi pembakaran. Ferronato et al. (2022) memperlihatkan bahwa komposisi briket berbasis limbah dapat memengaruhi emisi partikulat dan gas selama proses pembakaran. Mencarelli et al. (2025b) juga menegaskan bahwa perbedaan kualitas arang berhubungan dengan variasi emisi polutan. Dalam konteks Briket GOWES, keberadaan media kertas *main filter* bekas sebagai salah satu material penyusun memerlukan identifikasi komposisi dan evaluasi potensi kontaminan sebelum bahan bakar dapat dinyatakan aman untuk penggunaan pada proses pemanggangan pangan. Karena penelitian ini belum melakukan pengujian emisi maupun kontaminan pada produk, keamanan penggunaan Briket GOWES untuk pemanggangan kemplang belum dapat disimpulkan.

Pemanfaatan Limbah sebagai Bahan Bakar Alternatif dan Implikasinya bagi Keberlanjutan UMKM

Pengembangan Briket GOWES melalui Program SEDULANG PANGAN memperlihatkan adanya upaya menghubungkan pengelolaan limbah dengan kebutuhan bahan bakar pada kegiatan ekonomi masyarakat. Pemanfaatan sisa makanan terpilah sebagai bahan baku energi menunjukkan potensi penerapan prinsip ekonomi sirkular, yaitu penggunaan kembali material sisa untuk menghasilkan produk yang memiliki fungsi ekonomi. Namun, keberhasilan pendekatan tersebut tidak hanya ditentukan oleh kemampuan menghasilkan briket, tetapi juga oleh karakteristik energi, biaya produksi, kinerja pembakaran, dan kelayakan penggunaannya dalam kegiatan usaha. Ferronato et al. (2022) mengidentifikasi potensi briket berbasis limbah untuk mendukung penyediaan energi alternatif sekaligus mengurangi material yang masuk ke fasilitas pembuangan akhir. Dalam kajian berikutnya, Ferronato et al. (2023) menggunakan pendekatan penilaian daur hidup untuk mengevaluasi dampak lingkungan produksi dan konsumsi briket berbasis biomassa dan karton. Penelitian tersebut menunjukkan pentingnya mempertimbangkan seluruh rangkaian produksi dan penggunaan bahan bakar ketika menilai manfaat lingkungannya. Sementara itu, Nikiema et al. (2022) memperlihatkan potensi pengolahan limbah makanan menjadi briket nonkarbonisasi sebagai pendekatan pemanfaatan limbah dan penyediaan bahan bakar alternatif.

Dalam konteks UMKM Srikandi Jaya, penggunaan Briket GOWES berpotensi menghubungkan dua kepentingan, yaitu pengurangan biaya pembelian bahan bakar dan

pemanfaatan material limbah melalui kegiatan program. Berdasarkan hasil simulasi, penghematan biaya langsung bahan bakar dapat mencapai 46,15% pada skenario penggantian penuh dengan asumsi utama. Akan tetapi, hasil tersebut tidak menunjukkan bahwa Briket GOWES telah memiliki kinerja lingkungan yang lebih baik dibandingkan arang karena penelitian belum melakukan analisis daur hidup, pengukuran emisi, maupun perhitungan kebutuhan energi untuk pembuatan briket. Dengan demikian, potensi keberlanjutan penggunaan Briket GOWES perlu dinilai melalui hubungan antara aspek ekonomi, teknis, dan lingkungan. Penghematan biaya bahan bakar dapat menjadi alasan awal untuk mempertimbangkan substitusi arang, tetapi penerapan berkelanjutan membutuhkan pembuktian bahwa briket dapat digunakan secara konsisten, memenuhi kebutuhan panas produksi, tidak menurunkan kualitas maupun keamanan pangan, dan memiliki biaya serta dampak lingkungan yang dapat diterima. Integrasi berbagai aspek tersebut akan memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih komprehensif bagi UMKM dan pelaksana program pemberdayaan masyarakat.

Kontribusi Penelitian dan Implikasi Pengembangan Briket GOWES

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa pendekatan penyetaraan kebutuhan panas dapat digunakan untuk membandingkan biaya bahan bakar alternatif secara lebih proporsional pada kegiatan produksi pangan skala kecil. Berbeda dari evaluasi yang hanya membandingkan harga arang dan briket per kilogram, penelitian ini memperhitungkan perbedaan nilai kalor dan efisiensi relatif sehingga estimasi biaya didasarkan pada keluaran produksi yang sama. Penggunaan tiga skenario substitusi, analisis sensitivitas efisiensi, dan penentuan harga titik impas memperluas informasi ekonomi yang dapat diperoleh meskipun data pengujian lapangan belum tersedia secara lengkap. Dibandingkan dengan penelitian Nikiema et al. (2022) yang berfokus pada karakteristik bahan baku dan kualitas energi briket, serta Ferronato et al. (2022) yang mengevaluasi efisiensi termal dan emisi, penelitian ini menempatkan kebutuhan biaya pada tingkat pengguna akhir sebagai fokus analisis. Sementara itu, pendekatan ekonomi Bot et al. (2022) dikembangkan dalam konteks produksi briket, sedangkan penelitian ini mengevaluasi estimasi penghematan yang dapat diperoleh UMKM ketika menggunakan bahan bakar alternatif dalam proses pemanggangan. Dengan demikian, hasil penelitian memberikan analisis komplementer mengenai potensi nilai ekonomi briket limbah dari perspektif operasional usaha kecil.

Meskipun demikian, kontribusi penelitian masih berada pada tingkat pengembangan kerangka simulasi dan estimasi biaya. Hasilnya belum dapat digunakan untuk menyimpulkan efektivitas aktual pembakaran, peningkatan kualitas sensoris, keamanan pangan, atau kelayakan finansial keseluruhan. Pengujian eksperimental pada kegiatan produksi UMKM Srikandi Jaya perlu dilakukan untuk memvalidasi konsumsi bahan bakar, efisiensi termal, waktu pemanggangan, dan biaya aktual. Evaluasi tersebut juga perlu dilengkapi pengujian komposisi bahan bakar, nilai kalor, emisi pembakaran, serta karakteristik produk kemplang. Melalui tahapan tersebut, hasil simulasi dapat dikembangkan menjadi bukti empiris yang lebih kuat mengenai kelayakan penggunaan Briket GOWES sebagai bahan bakar alternatif pada produksi pangan skala mikro.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Briket GOWES berpotensi mengurangi biaya bahan bakar pada proses pemanggangan kemplang UMKM Srikandi Jaya di Desa Merah Mata, Kabupaten Banyuasin, berdasarkan simulasi komparatif dengan penyetaraan kebutuhan energi panas. Pada asumsi nilai kalor bersih briket sebesar 7.000 kkal/kg, harga Rp6.000/kg,

dan efisiensi pemanfaatan panas sebesar 90% dari arang, substitusi penuh menghasilkan estimasi biaya Rp7.000 per 100 buah kemplang matang, lebih rendah dibandingkan penggunaan arang sebesar Rp13.000. Dengan demikian, potensi penghematan mencapai Rp6.000 atau 46,15%, sedangkan penggunaan campuran arang dan briket menghasilkan penghematan sebesar 34,62%. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa penghematan pada skenario briket penuh berkisar antara 39,42% dan 51,54% pada efisiensi relatif 80–100%, dengan harga titik impas sekitar Rp11.143/kg pada efisiensi relatif 90%. Temuan ini memperlihatkan bahwa kelayakan ekonomi penggunaan bahan bakar alternatif tidak hanya ditentukan oleh harga pembelian per kilogram, tetapi juga oleh nilai kalor, kebutuhan massa, dan efisiensi pemanfaatan panas untuk menghasilkan keluaran produksi yang setara. Penelitian ini memberikan pendekatan analisis ekonomi pada tingkat pengguna akhir yang dapat menjadi dasar pertimbangan awal bagi UMKM dalam mengevaluasi substitusi bahan bakar berbasis limbah. Namun, hasil penelitian masih terbatas pada simulasi menggunakan parameter yang belum seluruhnya diverifikasi melalui pengujian aktual. Pengaruh Briket GOWES terhadap cita rasa, kualitas produk, emisi pembakaran, dan keamanan pangan juga belum dapat disimpulkan. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu melakukan pengujian nilai kalor, efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, biaya produksi aktual, serta evaluasi sensoris dan keamanan produk secara terkontrol untuk memastikan kelayakan teknis, ekonomi, dan lingkungan penggunaan Briket GOWES dalam produksi kemplang.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan kerangka evaluasi ekonomi berbasis kesetaraan kebutuhan panas (heat-equivalence-based economic assessment) untuk menilai kelayakan Briket GOWES berbasis limbah sebagai bahan bakar alternatif dalam proses produksi pangan tradisional pada sektor usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM). Berbeda dari kajian substitusi bahan bakar sebelumnya yang umumnya berfokus pada kinerja teknis pembakaran atau manfaat ekonomi secara umum, penelitian ini mengintegrasikan simulasi perbandingan biaya bahan bakar, asumsi efisiensi termal relatif, analisis sensitivitas, serta perhitungan harga titik impas (break-even price) berdasarkan satuan keluaran produksi yang terstandarisasi, yaitu 100 buah kemplang matang. Pendekatan tersebut memberikan perspektif analitis yang lebih komprehensif dalam mengevaluasi konsekuensi ekonomi penggunaan bahan bakar alternatif dibandingkan arang konvensional dengan mempertimbangkan kesetaraan kebutuhan energi. Selain menawarkan model evaluasi awal untuk mendukung pengambilan keputusan UMKM dalam mengoptimalkan biaya energi, penelitian ini memperluas kajian pemanfaatan energi alternatif berbasis limbah pada industri pangan tradisional, sekaligus memberikan landasan bagi pengembangan penelitian eksperimental mengenai karakteristik pembakaran, konsumsi bahan bakar aktual, kualitas sensoris produk, dan keamanan pangan.

DAFTAR PUSTAKA

Bello, R. S., Olorunnisola, A. O., Omoniyi, T. E., & Onilude, M. A. (2024). Development of an improved biomass stove and performance evaluation using three types of briquettes. *Science Journal of Scientific Research*, *14*(1), 1–12. https://doi.org/10.3923/sjsr.2024.01.12

Bot, B. V., Axaopoulos, P. J., Sakellariou, E. I., Sosso, O. T., & Tamba, J. G. (2022). Energetic and economic analysis of biomass briquettes production from agricultural residues. *Applied Energy*, *321*, 119430. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119430

Bot, B. V., Axaopoulos, P. J., Sosso, O. T., Sakellariou, E. I., & Tamba, J. G. (2023). Economic analysis of biomass briquettes made from coconut shells, rattan waste, banana peels and sugarcane bagasse in households cooking. *International Journal of Energy and*

Environmental Engineering, *14*, 179–187. https://doi.org/10.1007/s40095-022-00508-2

Clean Cooking Alliance. (2025). *Controlled cooking test: Version 3.0*. https://cleancooking.org/protocols/

Darmawi, Hadi, Q., Ellyanie, & Bizzy, I. (2021). Analisis aliran udara alat penghemat energi vertikal generasi kedua untuk masyarakat Tebing Gerinting Kecamatan Indralaya Selatan Kabupaten Ogan Ilir. *Jurnal Rekayasa Mesin*, *21*(2), 75–78. https://doi.org/10.36706/jrm.v21i2.156

Deng, M., Zhang, P., Nie, Y., Shi, Y., Yang, H., Wu, D., Rong, X., & Ma, R. (2023). How to improve pollutant emission performances of household biomass cookstoves: A review. *Energy and Buildings*, *295*, 113316. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113316

Drigo, R. (2005). *WISDOM–East Africa: Spatial woodfuel production and consumption analysis of selected African countries*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/4/j8227e/j8227e00.htm

Du, W., Jiang, S., Lei, Y., Wang, J., Cui, Z., Xiang, P., Chang, Z., Duan, W., Shen, G., Qin, Y., Pan, B., & Yu, Y. (2025). Occurrence, formation mechanism, and health risk of polycyclic aromatic hydrocarbons in barbecued food. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *293*, 118046. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.118046

Ferronato, N., Baltrocchi, A. P. D., Romagnoli, F., Calle Mendoza, I. J., Gorritty Portillo, M. A., & Torretta, V. (2023). Environmental life cycle assessment of biomass and cardboard waste-based briquettes production and consumption in Andean areas. *Energy for Sustainable Development*, *72*, 139–150. https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.12.005

Ferronato, N., Calle Mendoza, I. J., Ruiz Mayta, J. G., Gorritty Portillo, M. A., Conti, F., & Torretta, V. (2022). Biomass and cardboard waste-based briquettes for heating and cooking: Thermal efficiency and emissions analysis. *Journal of Cleaner Production*, *375*, 134111. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134111

Firdaus, E. N., Wulandari, A., Marreta, S. F., & Nasution, F. A. M. (2025). Comparison of combustion emissions between manual and machine set methods to reduce carbon monoxide (CO) in briquette manufacturing. *Waste Handling and Environmental Monitoring*, *2*(2). https://doi.org/10.61511/whem.v2i2.2025.2254

Ganesan, S., & Vedagiri, P. (2024). Production and emission characterization of briquette for sustainable development: MSW transformation. *Environmental Science and Pollution Research*, *31*, 34340–34354. https://doi.org/10.1007/s11356-024-33546-w

He, K., Shen, Z., Yang, Y., Zhang, B., Sun, J., Xu, H., Ho, S. S. H., Qu, L., & Cao, J. (2024). Insight into emission reduction effect of coal and biomass mixed briquette fuel. *Journal of Cleaner Production*, *471*, 143419. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143419

Kizito, S., Jjagwe, J., Ssewaya, B., Nekesa, L., Tumutegyereize, P., Zziwa, A., & Komakech, A. J. (2022). Biofuel characteristics of non-charred briquettes from dried fecal sludge blended with food market waste: Suggesting a waste-to-biofuel enterprise as a win–win strategy to solve energy and sanitation problems in slums settlements. *Waste Management*, *140*, 173–182. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.029

Kujawiak, S., Makowska, M., Janczak, D., Czekała, W., Krzesiński, W., Antonowicz, A., & Kupryaniuk, K. (2024). An analysis of the physicochemical and energy parameters of briquettes manufactured from sewage sludge mixtures and selected organic additives. *Energies*, *17*(18), 4573. https://doi.org/10.3390/en17184573

Lichinga, K. N., Sikazwe, K., Elibariki, R., Masse, A. A., Kayumba, H. I., & Shija, H. (2025). Cleaner cooking solutions: Optimizing biomass briquettes to replace charcoal and mitigate climate change in Tanzania. *Scientific African*, e03056. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2025.e03056

Mencarelli, A., Greco, R., & Grigolato, S. (2025a). Can the qualitative characteristics of commercial charcoal-based products affect combustion performance during grilling. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *15*, 24995–25006. https://doi.org/10.1007/s13399-025-06830-z

Mencarelli, A., Greco, R., & Grigolato, S. (2025b). Grilling and air pollution: How charcoal quality affects emissions. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *18*, 1757–1770. https://doi.org/10.1007/s11869-025-01737-0

Mudryk, K., Frączek, J., Leszczyńska, J., & Krotowski, M. (2025). Technology for the production of energy briquettes from bean stalks. *Energies*, *18*(15), 4009. https://doi.org/10.3390/en18154009

Nikiema, J., Asamoah, B., Egblewogbe, M. N. Y. H., Akomea-Agyin, J., Cofie, O. O., Hughes, A. F., Gebreyesus, G., Asiedu, K. Z., & Njenga, M. (2022). Impact of material composition and food waste decomposition on characteristics of fuel briquettes. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, *15*, 200095. https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200095

Nikiforov, A., Prikhodko, E., Kinzhibekova, A., Karmanov, A., & Ivanova, T. A. (2024). Analysis of the efficiency of burning briquettes from agricultural and industrial residues in a layer. *Energies*, *17*(13), 3070. https://doi.org/10.3390/en17133070

Program SEDULANG PANGAN. (2026). *Dokumentasi pengembangan dan uji coba Briket GOWES pada UMKM Srikandi Jaya di Desa Merah Mata*. PT PLN Indonesia Power UP Merah Mata PLTG Borang.

Roman, K., & Grzegorzewska, E. (2024). Biomass briquetting technology for sustainable energy solutions: Innovations in forest biomass utilization. *Energies*, *17*(24), 6392. https://doi.org/10.3390/en17246392

Roman, K., Rzodkiewicz, W., & Hryniewicz, M. (2023). Analysis of forest biomass wood briquette structure according to different tests of density. *Energies*, *16*(6), 2850. https://doi.org/10.3390/en16062850

Sanka, P. M., Germain, O., Khalifa, L., Komakech, H., & Magambo, H. (2024). Production of low emission briquettes from carbonized faecal sludge as an alternative source of cooking energy. *Energy, Sustainability and Society*, *14*, 14. https://doi.org/10.1186/s13705-024-00449-0

Schobing, J., Meyer, A., Leyssens, G., Zouaoui, N., Allgaier, O., Cazier, F., Dewaele, D., Genevray, P., Pusca, C., & Goutier, F. (2023). Inventory of the French densified log market: Characterization and emission factors measurement of twenty commercial briquettes. *Fuel*, *335*, 127060. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127060

Vilas Boas, M., Zanuncio, A. J. V., Neiva, D., Carneiro, A. de C. O., Castro, V. R. de, Vital, B. R., Surdi, P. G., Carvalho, A. G., Morais Junior, V. T. M. de, & Araújo, S. de O. (2024). Solid biofuel from the Amazon: A circular economy approach to briquette production from wood waste. *Forests*, *15*(8), 1328. https://doi.org/10.3390/f15081328

Wang, Z., Huang, W., Wang, H., Gao, J., Zhang, R., Xu, G., & Wang, Z. (2024). Research on the improvement of carbon neutrality by utilizing agricultural waste: Based on a life cycle assessment of biomass briquette fuel heating system. *Journal of Cleaner Production*, *434*, 140365. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140365

Wulandari, A. P., Rossiana, N., Zahdi, F. R. M., Nuraulia, R., Nur'anifah, R., Kartika, C. I., Rahmah, L. A., Kusmoro, J., Madihah, & Yusnaidar. (2024). Formulation and characterization of bio-briquettes and bio-pellets from ramie (Boehmeria nivea) biomass as renewable fuel. *Sustainability*, *16*(24), 10930. https://doi.org/10.3390/su162410930