



Jejak Karbon Produksi Briket Batok Kelapa Berbasis Komunitas: Pendekatan Penilaian Daur Hidup

Dian Aryani^{1*}, Moh. Harmoko¹, Joni Adiansyah¹, Sukuryadi¹

¹ Magister Ilmu Lingkungan, Program Pascasarjana, Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram, Indonesia.

DOI: <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3007>

Article Info:

Received : 27 Juli 2026
Revised : 15 Agustus 2026
Accepted : 25 Agustus 2026
Published : 30 September 2026

Correspondence:

Dian Aryani

Phone:

Abstract: The increasing demand for renewable energy encourages the utilization of biomass waste as a sustainable alternative energy source. Coconut shell briquettes have great potential due to their high calorific value, abundant raw material availability, and support for the implementation of a circular economy. This study aims to evaluate the environmental performance of community-based coconut shell briquette production at the Gawah Bonga Foundation, Central Lombok Regency, using a Life Cycle Assessment (LCA) approach based on ISO 14040 and ISO 14044. The study was conducted with a cradle-to-gate system limit and a functional unit of 1 kg of ready-to-sell briquettes. The impact assessment focused on the Global Warming Potential (GWP100) category. The results showed total greenhouse gas emissions of 31.68 kg CO₂-eq per batch or 1.86 kg CO₂-eq/kg briquettes. Raw material transportation and product distribution were the main contributors to emissions (76.24%), while electricity use in the production process contributed 23.76%. A sensitivity analysis shows that the implementation of solar power plants (PLTS) can reduce the carbon footprint to 1.42 kg CO₂-eq/kg briquettes. These findings suggest that transportation efficiency and renewable energy utilization are key strategies for improving the environmental performance of the community-based briquette industry and supporting low-carbon development.

Keywords: Biomass Briquette; Carbon Footprint; Circular Economy; Coconut Shell; Life Cycle Assessment.

Citation: Aryani, D., Harmoko, M., Adiansyah, J., & Sukuryadi. (2026). Jejak Karbon Produksi Briket Batok Kelapa Berbasis Komunitas: Pendekatan Penilaian Daur Hidup. *Jurnal Pendidikan, Sains, Geologi, Dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 7(4), 5916–5924. <https://doi.org/10.29303/goescienceed.v7i4.3007>

Pendahuluan

Perubahan iklim global dan peningkatan kebutuhan energi telah mendorong berbagai negara untuk mengembangkan sumber energi yang lebih berkelanjutan dan rendah emisi karbon. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menyebabkan peningkatan emisi gas rumah kaca, tetapi juga menimbulkan berbagai dampak lingkungan seperti pencemaran udara, degradasi ekosistem, dan penurunan kualitas lingkungan hidup. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, transisi menuju energi terbarukan menjadi salah satu strategi utama untuk

mendukung pencapaian target pengurangan emisi dan ketahanan energi nasional.

Indonesia merupakan salah satu negara tropis dengan potensi biomassa yang sangat besar. Berbagai jenis limbah pertanian dan perkebunan tersedia dalam jumlah melimpah dan sebagian besar belum dimanfaatkan secara optimal. Salah satu limbah biomassa yang memiliki potensi tinggi sebagai sumber energi alternatif adalah tempurung kelapa. Indonesia merupakan produsen kelapa terbesar di dunia dengan produksi mencapai jutaan ton per tahun yang menghasilkan limbah tempurung dalam jumlah signifikan. Pada banyak daerah, tempurung kelapa

masih dianggap sebagai limbah dengan nilai ekonomi rendah sehingga sering dibakar secara terbuka atau dibuang tanpa pengelolaan yang memadai. Kondisi tersebut tidak hanya menyebabkan pemborosan sumber daya tetapi juga berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan.

Pemanfaatan tempurung kelapa menjadi briket arang merupakan salah satu bentuk pengolahan limbah biomassa yang mampu meningkatkan nilai tambah sekaligus menyediakan sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Briket batok kelapa memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan bahan bakar biomassa konvensional, antara lain nilai kalor yang tinggi, waktu pembakaran yang lebih lama, kadar abu yang relatif rendah, serta kemudahan dalam penyimpanan dan distribusi. Produk ini telah banyak digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga, industri makanan, hingga kebutuhan ekspor terutama untuk pasar Timur Tengah, Eropa, dan Asia Timur.

Meskipun berasal dari sumber daya terbarukan, keberlanjutan lingkungan dari produksi briket batok kelapa tidak dapat dinilai hanya berdasarkan karakteristik bahan bakunya. Berbagai tahapan produksi seperti pengumpulan bahan baku, transportasi, karbonisasi, penghalusan, pencampuran, pencetakan, dan pengemasan memerlukan energi dan sumber daya yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengevaluasi dampak lingkungan secara menyeluruh sepanjang siklus hidup produk sehingga titik-titik kritis penyebab dampak lingkungan dapat diidentifikasi secara akurat.

Life Cycle Assessment (LCA) merupakan metode yang telah diakui secara internasional untuk mengevaluasi dampak lingkungan suatu produk, proses, atau jasa sepanjang siklus hidupnya. Metode ini dikembangkan berdasarkan standar ISO 14040 dan ISO 14044 yang mencakup empat tahapan utama, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup, penyusunan inventori daur hidup, penilaian dampak daur hidup, dan interpretasi hasil. Pendekatan LCA memungkinkan identifikasi hotspot lingkungan sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam penyusunan strategi peningkatan kinerja lingkungan suatu sistem produksi.

Berbagai penelitian sebelumnya telah menerapkan LCA pada produk biomassa dan bioenergi. González-García et al. melaporkan bahwa konsumsi energi dan aktivitas transportasi merupakan faktor dominan yang memengaruhi dampak lingkungan pada produksi pelet dan briket biomassa di Amerika Latin. Quispe et al. menunjukkan bahwa proses pengolahan dan distribusi menjadi penyumbang utama emisi karbon pada produksi briket biomassa di wilayah Andes. Sementara itu, Gallego-Ramírez et al. menegaskan bahwa pemilihan sumber energi memiliki

pengaruh yang signifikan terhadap hasil penilaian dampak lingkungan produk biochar dan biomassa. Metode Life Cycle Assessment (LCA) telah berkembang menjadi salah satu instrumen utama dalam evaluasi keberlanjutan produk dan proses karena mampu mengidentifikasi dampak lingkungan sepanjang siklus hidup suatu produk (Guinée, 2002; Joliet et al., 2015).

Di Indonesia, penelitian mengenai LCA telah banyak diterapkan pada sektor pertambangan, pupuk, manufaktur, dan pangan. Adiansyah et al. menunjukkan bahwa konsumsi energi dan penggunaan bahan bakar fosil merupakan kontributor utama terhadap dampak pemanasan global pada industri pupuk. Penelitian Adi et al. pada industri tahu skala UMKM di Kota Mataram juga menemukan bahwa energi dan bahan bakar menjadi sumber utama emisi karbon dalam sistem produksi. Namun demikian, kajian LCA pada industri briket batok kelapa berbasis komunitas di wilayah Nusa Tenggara Barat masih sangat terbatas.

Gawah Bonga Foundation merupakan organisasi berbasis komunitas di Kabupaten Lombok Tengah yang mengembangkan pemanfaatan limbah tempurung kelapa menjadi produk briket arang sebagai sumber energi alternatif sekaligus komoditas bernilai ekonomi. Keunikan sistem produksi pada organisasi ini terletak pada penggunaan limbah tempurung kelapa yang berasal dari aktivitas masyarakat dan unit produksi Virgin Coconut Oil (VCO), sehingga mencerminkan penerapan prinsip ekonomi sirkular pada tingkat komunitas. Selain itu, pada tahun 2025 unit produksi ini mulai memanfaatkan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk mendukung kegiatan operasional sehingga memberikan peluang untuk menurunkan jejak karbon sistem produksi.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak lingkungan produksi briket batok kelapa berbasis komunitas pada Gawah Bonga Foundation menggunakan pendekatan Life Cycle Assessment. Secara khusus penelitian ini bertujuan untuk (1) menyusun inventori daur hidup sistem produksi briket batok kelapa, (2) menghitung jejak karbon produk berdasarkan kategori Global Warming Potential, (3) mengidentifikasi hotspot lingkungan yang memberikan kontribusi terbesar terhadap emisi gas rumah kaca, dan (4) mengevaluasi potensi pengurangan emisi melalui pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi alternatif. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar pengembangan industri biomassa berbasis komunitas yang lebih efisien, rendah karbon, dan berkelanjutan.

Metode

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan Life Cycle Assessment (LCA). Metode LCA digunakan untuk mengevaluasi

dampak lingkungan yang timbul selama siklus produksi briket batok kelapa berdasarkan standar ISO 14040:2006 dan ISO 14044:2006. Pendekatan ini memungkinkan identifikasi sumber dampak lingkungan utama serta penyusunan rekomendasi perbaikan sistem produksi yang lebih berkelanjutan. Penelitian dilaksanakan pada unit produksi briket batok kelapa milik Gawah Bonga Foundation yang berlokasi di Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Pengumpulan data dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara dengan pengelola produksi, pengukuran langsung penggunaan bahan baku dan energi, serta studi dokumentasi proses produksi selama tahun 2025. Analisis data dan penyusunan Life Cycle Assessment (LCA) dilakukan pada periode Januari-Mei 2026.

Tujuan utama penelitian adalah mengevaluasi kinerja lingkungan produksi briket batok kelapa berbasis komunitas pada Gawah Bonga Foundation melalui pendekatan LCA. Secara khusus penelitian bertujuan untuk menghitung jejak karbon produk, mengidentifikasi hotspot lingkungan, dan mengevaluasi potensi pengurangan emisi melalui pemanfaatan energi terbarukan.

Batas sistem yang digunakan adalah *cradle-to-gate*, yaitu mencakup seluruh tahapan sejak pengadaan bahan baku hingga produk siap dipasarkan. Tahapan yang dianalisis meliputi: 1) Pengadaan dan transportasi bahan baku tempurung kelapa; 2) Pengerinan alami bahan baku; 3) Karbonisasi tempurung kelapa menjadi arang; 4) Penghalusan arang; 5) Pencampuran bahan baku dan perekat; 6) Pencetakan briket; 7) Pengerinan produk; 8) Pengemasan produk. Tahap penggunaan produk oleh konsumen dan akhir masa pakai tidak termasuk dalam ruang lingkup penelitian. Functional Unit (FU) ditetapkan sebesar per 1 kg briket batok kelapa siap jual. Seluruh data inventori dan hasil penilaian dampak lingkungan dinormalisasi terhadap satuan fungsi tersebut agar dapat dibandingkan dengan penelitian sejenis.

Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap Life Cycle Inventory dilakukan dengan mengidentifikasi seluruh aliran material, energi, dan emisi yang terjadi selama proses produksi. Data inventori diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara, pencatatan penggunaan bahan baku, konsumsi energi listrik, serta penggunaan bahan bakar minyak.

Tahap upstream mencakup proses pengadaan bahan baku tempurung kelapa yang berasal dari masyarakat dan unit produksi Virgin Coconut Oil (VCO) di sekitar lokasi penelitian. Tahap upstream dalam produksi briket batok kelapa diawali dengan pengadaan dan transportasi bahan baku dari lokasi sumber menuju unit produksi. Aktivitas transportasi

menggunakan bahan bakar Peralite sebanyak 5 liter yang menghasilkan emisi gas buang berupa karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan hidrokarbon (HC). Bahan baku utama berupa kelapa utuh sebanyak 100 butir kemudian melalui proses pengupasan untuk memisahkan tempurung dari bagian kelapa lainnya. Proses ini menghasilkan sekitar ±50 kg tempurung kelapa yang selanjutnya digunakan sebagai bahan baku pembuatan arang dan briket. Kegiatan pengupasan dilakukan secara manual menggunakan satu unit peralatan sederhana, sehingga kebutuhan energi eksternal pada tahap ini relatif rendah. Secara keseluruhan, tahap upstream berperan penting dalam menyediakan bahan baku utama sekaligus menjadi salah satu sumber emisi lingkungan akibat penggunaan bahan bakar pada proses transportasi.

Tahap core process merupakan tahapan utama dalam produksi briket batok kelapa yang melibatkan serangkaian proses pengolahan bahan baku hingga menjadi produk setengah jadi. Proses diawali dengan pengeringan alami tempurung kelapa menggunakan energi matahari selama 1-2 hari untuk menurunkan kadar air sehingga bahan baku lebih efektif dalam proses karbonisasi. Tempurung kelapa kering sebanyak 50 kg kemudian dikarbonisasi menggunakan biomassa pemantik sebanyak satu karung dan tambahan Peralite sebesar 0,5 liter sebagai pemicu pembakaran. Proses karbonisasi menghasilkan sekitar 15 kg arang tempurung kelapa serta emisi hasil pembakaran. Arang yang dihasilkan selanjutnya dihaluskan menggunakan mesin dengan konsumsi energi listrik sebesar 6 kWh hingga menjadi serbuk arang. Serbuk tersebut kemudian diayak menggunakan satu unit ayakan mesh untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih seragam dan halus.

Tahap berikutnya adalah pencampuran bahan baku yang terdiri atas 15 kg serbuk arang, 2 kg tepung tapioka sebagai perekat, dan 5 liter air. Proses pencampuran dilakukan menggunakan peralatan bermotor dengan kebutuhan energi listrik sebesar 0,558 kWh sehingga menghasilkan adonan briket yang homogen. Adonan tersebut kemudian dicetak menjadi bentuk briket menggunakan mesin pencetak yang mengonsumsi energi listrik sebesar 0,75 kWh. Hasil dari proses ini berupa briket basah yang selanjutnya siap memasuki tahap pengeringan lanjutan sebelum dilakukan pengemasan dan distribusi. Secara keseluruhan, tahap core process merupakan bagian paling intensif dalam penggunaan energi dan menjadi salah satu sumber utama emisi lingkungan dalam sistem produksi briket batok kelapa. Tahap inti produksi merupakan proses yang paling banyak menggunakan energi, terutama pada proses penghalusan arang yang membutuhkan listrik sebesar 6 kWh per batch produksi. Tahap downstream dalam sistem produksi briket batok

kelapa mencakup proses pengemasan dan distribusi produk kepada konsumen. Setelah melalui proses pengeringan dan dinyatakan memenuhi standar kualitas, briket dikemas menggunakan satu unit besek bambu sebagai wadah produk. Penggunaan besek bambu dipilih karena bersifat ramah lingkungan, mudah diperoleh secara lokal, serta mendukung pengurangan penggunaan kemasan berbahan plastik. Proses pengadaan besek bambu dari pasar atau lokasi produksi briket menggunakan sarana transportasi berbahan bakar Pertalite dengan konsumsi sekitar 5 liter untuk setiap siklus distribusi. Aktivitas transportasi ini menghasilkan emisi gas buang dari kendaraan yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan, khususnya dalam kategori pemanasan global (*Global Warming Potential*).

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Penilaian dampak lingkungan dilakukan menggunakan kategori dampak Global Warming Potential (GWP100) yang dinyatakan dalam satuan kilogram karbon dioksida ekuivalen (kg CO₂-eq). Kategori dampak Global Warming Potential (GWP100) dipilih karena merupakan salah satu indikator yang paling banyak digunakan dalam studi perubahan iklim dan LCA (Huijbregts et al., 2017). Perhitungan emisi karbon dilakukan menggunakan faktor emisi nasional yang sesuai dengan kondisi Indonesia. Faktor emisi listrik mengacu pada sistem ketenagalistrikan wilayah Nusa Tenggara, sedangkan faktor emisi bahan bakar minyak mengacu pada nilai emisi pembakaran Pertalite yang digunakan dalam sistem produksi.

Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Emisi CO}_2 - \text{eq} = \text{Aktivitas} \times \text{Faktor Emisi}$$

Dimana, aktivitas merupakan jumlah konsumsi energi atau bahan bakar, dan Faktor Emisi adalah nilai emisi per satuan aktivitas.

Analisis Hotspot Lingkungan

Analisis hotspot dilakukan untuk mengidentifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total dampak lingkungan sistem produksi. Besarnya kontribusi masing-masing proses dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Kontribusi (\%)} = \frac{\text{Emisi Tahap}}{\text{Total Emisi}} \times 100$$

Tahapan dengan kontribusi terbesar dianggap sebagai hotspot lingkungan dan menjadi prioritas dalam penyusunan strategi mitigasi.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan sumber energi terhadap hasil LCA. Dua skenario dibandingkan dalam penelitian ini: 1) Skenario 1 (PLN), dimana seluruh kebutuhan energi listrik proses produksi dipenuhi menggunakan listrik jaringan PLN. 2) Skenario 2 (PLTS) yang digunakan mulai tahun 2025 dimana seluruh kebutuhan energi listrik proses penghalusan, pencampuran, dan pencetakan dipenuhi menggunakan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang telah diterapkan oleh Gawah Bonga Foundation. Perbandingan kedua skenario digunakan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan energi terbarukan dalam menurunkan jejak karbon produk.

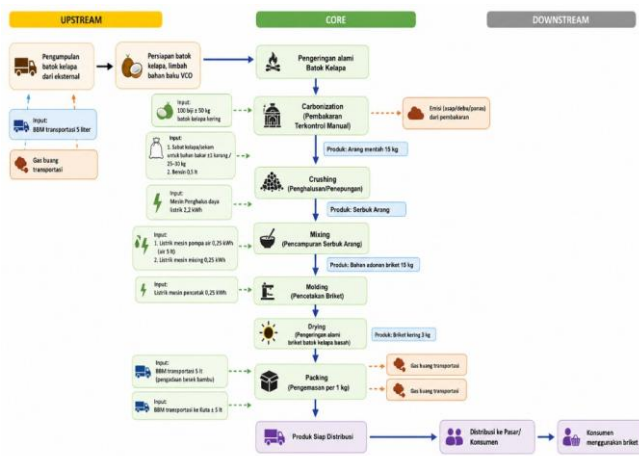
Analisis dan Interpretasi Data

Interpretasi hasil dilakukan dengan membandingkan: Kontribusi masing-masing tahapan terhadap total emisi, Hasil penelitian dengan studi LCA biomassa sebelumnya, Potensi penerapan energi terbarukan dalam menurunkan dampak lingkungan, dan Implikasi hasil penelitian terhadap pengembangan ekonomi sirkular dan pembangunan rendah karbon di tingkat komunitas. Hasil interpretasi digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi peningkatan kinerja lingkungan sistem produksi briket batok kelapa.

Hasil dan Diskusi

Gawah Bonga Foundation merupakan organisasi berbasis komunitas yang mengembangkan pemanfaatan limbah tempurung kelapa menjadi produk briket arang sebagai sumber energi alternatif sekaligus komoditas ekonomi bernilai tambah. Bahan baku utama diperoleh dari limbah tempurung kelapa hasil konsumsi masyarakat serta sisa produksi Virgin Coconut Oil (VCO) yang tersedia secara melimpah di wilayah Lombok Tengah.

Produksi briket dilakukan melalui tahapan pengumpulan bahan baku, pengeringan alami, karbonisasi, penghalusan arang, pencampuran dengan perekat tepung tapioka, pencetakan, pengeringan produk, dan pengemasan. Sistem produksi ini mencerminkan penerapan prinsip ekonomi sirkular karena mengubah limbah biomassa yang sebelumnya memiliki nilai ekonomi rendah menjadi produk energi yang dapat dimanfaatkan kembali. Selain memberikan manfaat lingkungan melalui pengurangan limbah, sistem produksi ini juga berkontribusi terhadap peningkatan pendapatan masyarakat lokal dan pengembangan usaha berbasis komunitas. Dalam konteks pembangunan berkelanjutan, model usaha seperti ini menjadi penting karena mampu mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara bersamaan..



Gambar 1. System Boundary produksi briket batok kelapa

Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap Life Cycle Inventory (LCI) bertujuan mengidentifikasi dan mengkuantifikasi seluruh aliran material, energi, serta emisi yang terlibat dalam sistem produksi briket batok kelapa. Inventori yang disusun menunjukkan bahwa proses produksi memanfaatkan

limbah tempurung kelapa sebagai bahan baku utama, tepung tapioka sebagai perekat, air, energi listrik, dan bahan bakar minyak untuk kegiatan transportasi serta karbonisasi.

Sebanyak 100 butir kelapa menghasilkan sekitar 50 kg tempurung kelapa kering yang kemudian dikarbonisasi menjadi sekitar 15 kg arang. Arang tersebut dicampur dengan 2 kg tepung tapioka dan air sehingga menghasilkan sekitar 17 kg campuran briket yang menjadi dasar perhitungan functional unit penelitian. Konsumsi energi listrik terbesar ditemukan pada proses penghalusan arang sebesar 6 kWh per batch produksi, sedangkan konsumsi bahan bakar terbesar berasal dari kegiatan transportasi bahan baku dan distribusi produk.

Karakteristik inventori tersebut menunjukkan bahwa meskipun bahan baku utama berasal dari limbah biomassa yang bersifat terbarukan, proses produksi masih bergantung pada energi eksternal berupa listrik dan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, evaluasi dampak lingkungan menjadi penting untuk mengidentifikasi tahapan yang paling berkontribusi terhadap emisi gas rumah kaca.

Table 1. Data Inventory LCA Briket Batok Kelapa Gawah Bongah Fondation

Pekerjaan	Input	Jumlah	Satuan	Output	Jumlah	Satuan	Keterangan
Pengangkutan	Batok kelapa	50	kg	-	-	-	berat batok kering/butir 300-450 gram.
Pengeringan Alami	Lantai jemur	-	-	-	-	-	
Karbonisasi	Batok kelapa kering, Sekam, Bensin untuk membakar sekam	50 1 0,5	Kg Karung, liter	Emisi gas buang (CO ₂ , NO _x , HC), debu, asap, panas	-	-	suhu 400-600 °C dengan waktu pemanasan sekitar 2-4 jam
Crushing (Penghalusan/ Penepungan)	daya listrik 2 kW (kurang lebih 3 jam)	6	kWh	Serbuk arang	15	kg	Mesin penghancur arang/hammer mill
Mixing (pencampuran)	Serbuk arang, Tapioka/kanji, Air, Listrik (0,186 kWx 3 jam)	15 2 5	Kg Kg Liter	-	-	-	Mesin pengaduk adonan menghasilkan campuran briket siap cetak
Molding (pencetakan)	Listrik dengan daya 250 watt x 3 jam	0,75	kWh	-	-	-	-
Drying pengeringan.	Penjemuran alami	-	-	-	-	-	-

Pengemasan.	Transport pengadaan besek bambu/ BBM	5	liter	Emisi gas buang (CO ₂ , NO _x , HC)	-	-	Besek bambu didatangkan dari pengrajin/pasa r
-------------	---	---	-------	---	---	---	---

Sumber : Hasil Observasi Lapangan

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Penilaian dampak lingkungan dilakukan menggunakan kategori dampak Global Warming Potential (GWP100) yang dinyatakan dalam satuan kilogram karbon dioksida ekuivalen (kg CO₂-eq).

Kategori ini dipilih karena perubahan iklim merupakan salah satu isu lingkungan yang paling relevan dalam pengembangan energi biomassa berkelanjutan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jejak Karbon Produksi Briket Batok Kelapa

No	Tahapan Produksi	Input	Jumlah	Emisi (kg CO ₂ -eq)
1	Transportasi bahan baku	Pertalite	5 liter	11,50
2	Pengeringan alami	Matahari	-	0,00
3	Karbonisasi	Pertalite	0,5 liter	1,15
4	Penghalusan arang	Listrik	6 kWh	6,18
5	Pencampuran	Listrik	0,558 kWh	0,57
6	Pencetakan	Listrik	0,75 kWh	0,77
7	Distribusi dan pengemasan	Pertalite	5 liter	11,50
Total				31,68

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama satu batch produksi mencapai 31,68 kg CO₂-eq. Setelah dinormalisasi terhadap functional unit sebesar 17 kg briket siap jual, diperoleh nilai jejak karbon sebesar:

$$\frac{31,68}{17} = 1,86 \text{ kg CO}_2 - \text{eq/kg briket}$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa setiap kilogram briket yang diproduksi menghasilkan emisi sebesar 1,86 kg CO₂-eq sepanjang rantai produksi yang dianalisis. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, nilai jejak karbon ini masih relatif kompetitif karena bahan baku utama berasal dari limbah biomassa yang tidak memerlukan proses budidaya tambahan. Namun demikian, hasil ini mengindikasikan bahwa proses produksi masih memiliki peluang perbaikan terutama pada aspek energi dan transportasi.

Analisis Hotspot Lingkungan

Hotspot analysis dilakukan untuk mengidentifikasi tahapan proses yang memberikan kontribusi terbesar terhadap total emisi sistem. Hasil analisis menunjukkan bahwa transportasi bahan baku dan distribusi produk merupakan hotspot utama dalam

sistem produksi dengan kontribusi kumulatif sebesar 72,60%. Jika ditambahkan emisi karbonisasi yang juga menggunakan bahan bakar fosil, maka total kontribusi aktivitas berbasis bahan bakar mencapai lebih dari 76% dari total emisi sistem.

Tabel 3. Kontribusi Setiap Tahapan terhadap Total Emisi

Tahapan Produksi	Emisi (kg CO ₂ -eq)	Kontribusi (%)
Transportasi bahan baku	11,50	36,30
Pengeringan alami	0,00	0,00
Karbonisasi	1,15	3,63
Penghalusan arang	6,18	19,51
Pencampuran	0,57	1,81
Pencetakan	0,77	2,44
Distribusi produk	11,50	36,30
Total	31,68	100,00

Sementara itu, penggunaan energi listrik pada proses penghalusan, pencampuran, dan pencetakan berkontribusi sekitar 23,76% terhadap total emisi. Dari seluruh tahapan produksi, proses penghalusan arang

menjadi kontributor terbesar kedua setelah transportasi dengan kontribusi sebesar 19,51%.

Temuan ini menunjukkan bahwa sumber emisi utama bukan berasal dari bahan baku biomassa, melainkan dari energi pendukung yang digunakan selama proses produksi. Kondisi tersebut konsisten dengan berbagai studi LCA biomassa yang menunjukkan bahwa dampak lingkungan produk bioenergi sering kali didominasi oleh konsumsi energi dan transportasi dibandingkan bahan baku itu sendiri.

Pembahasan Hasil LCIA

Produksi briket batok kelapa pada dasarnya merupakan bentuk pemanfaatan limbah biomassa yang mendukung prinsip ekonomi sirkular. Tempurung kelapa yang sebelumnya tidak memiliki nilai ekonomi tinggi diubah menjadi sumber energi alternatif yang dapat menggantikan sebagian penggunaan bahan bakar fosil. Meskipun demikian, hasil penelitian menunjukkan bahwa keberlanjutan suatu produk tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan baku yang digunakan, tetapi juga oleh efisiensi proses produksi yang menyertainya.

Dalam penelitian ini, transportasi menjadi sumber emisi terbesar karena lokasi pengumpulan bahan baku dan distribusi produk masih bergantung pada kendaraan berbahan bakar fosil. Hasil penelitian ini sejalan dengan González-García et al. (2022) yang melaporkan bahwa transportasi biomassa merupakan salah satu faktor dominan yang memengaruhi jejak karbon produksi briket dan pelet biomassa. Temuan serupa juga dilaporkan oleh Quispe et al. (2023) yang menunjukkan bahwa distribusi produk biomassa memberikan kontribusi signifikan terhadap total emisi sistem produksi di wilayah pegunungan Andes.



Gambar 2. Kontribusi masing-masing tahapan produksi terhadap total emisi gas rumah kaca pada sistem produksi briket batok kelapa.

Selain transportasi, proses penghalusan arang juga memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap

total emisi. Tingginya konsumsi listrik pada tahap ini menunjukkan bahwa efisiensi peralatan menjadi faktor penting dalam meningkatkan kinerja lingkungan sistem produksi. Temuan ini konsisten dengan penelitian Adiansyah et al. (2021) yang menemukan bahwa penggunaan energi merupakan salah satu faktor utama yang menentukan dampak lingkungan pada industri pupuk di Indonesia. Secara umum, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa strategi pengurangan dampak lingkungan harus difokuskan pada dua aspek utama, yaitu efisiensi transportasi dan transisi menuju sumber energi yang lebih bersih.

Analisis Sensitivitas Penggunaan Energi Surya

Untuk mengevaluasi potensi pengurangan emisi, dilakukan analisis sensitivitas dengan membandingkan dua skenario sumber energi, yaitu penggunaan listrik jaringan PLN dan penggunaan listrik dari sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

Tabel 6. Perbandingan Skenario PLN dan PLTS

Parameter	PLN	PLTS
Emisi transportasi	23,00	23,00
Emisi karbonisasi	1,15	1,15
Emisi listrik	7,53	0,00
Total emisi (kg CO ₂ -eq/batch)	31,68	24,15
Emisi per kg briket	1,86	1,42

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa penggunaan PLTS mampu menurunkan total emisi sebesar $31,68 - 24,15 = 7,53$ kg CO₂-eq atau setara dengan reduksi emisi sebesar:

$$\frac{7,53}{31,68} \times 100 = 23,76 \%$$

Setelah dinormalisasi terhadap functional unit, jejak karbon produk menurun dari 1,86 kg CO₂-eq/kg briket menjadi 1,42 kg CO₂-eq/kg briket. Penurunan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi surya merupakan strategi mitigasi yang efektif untuk meningkatkan kinerja lingkungan industri briket berbasis komunitas.

Menariknya, setelah seluruh kebutuhan listrik dipenuhi menggunakan PLTS, aktivitas transportasi menjadi kontributor dominan dengan kontribusi lebih dari 95% terhadap total emisi yang tersisa. Hal ini menunjukkan bahwa pengembangan strategi rendah karbon pada tahap berikutnya perlu difokuskan pada optimalisasi rantai pasok bahan baku, efisiensi distribusi, penggunaan kendaraan hemat energi, atau pemanfaatan biofuel sebagai substitusi bahan bakar fosil.

Implikasi terhadap Ekonomi Sirkular dan Pembangunan Rendah Karbon

Hasil penelitian menunjukkan bahwa produksi briket batok kelapa berbasis komunitas memiliki potensi besar untuk mendukung pembangunan rendah karbon di tingkat lokal. Sistem produksi ini menerapkan prinsip ekonomi sirkular dengan mengubah limbah tempurung kelapa menjadi produk energi yang memiliki nilai ekonomi lebih tinggi. Temuan penelitian ini mendukung pendekatan pembangunan rendah karbon dan produksi berkelanjutan sebagaimana direkomendasikan oleh UNEP (2021) dan World Bank (2023).

Pemanfaatan limbah biomassa tidak hanya mengurangi volume limbah yang berpotensi mencemari lingkungan, tetapi juga menciptakan peluang usaha baru bagi masyarakat. Dalam konteks daerah kepulauan seperti Nusa Tenggara Barat, model usaha berbasis biomassa dapat menjadi alternatif yang efektif untuk meningkatkan ketahanan energi sekaligus memperkuat ekonomi masyarakat.

Penerapan PLTS pada sistem produksi semakin memperkuat aspek keberlanjutan karena mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi berbasis fosil. Integrasi antara pemanfaatan limbah biomassa dan energi terbarukan menunjukkan pendekatan yang sejalan dengan target pembangunan rendah karbon Indonesia serta Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs), khususnya SDG 7 (Energi Bersih dan Terjangkau), SDG 12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab), dan SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim).

Kesimpulan

Penelitian ini telah menerapkan metode Life Cycle Assessment (LCA) berdasarkan standar ISO 14040 dan ISO 14044 untuk mengevaluasi dampak lingkungan produksi briket batok kelapa berbasis komunitas pada Gawah Bonga Foundation, Kabupaten Lombok Tengah. Kajian dilakukan menggunakan pendekatan cradle-to-gate yang mencakup seluruh tahapan mulai dari pengadaan bahan baku, transportasi, karbonisasi, penghalusan, pencampuran, pencetakan, pengeringan, hingga pengemasan produk siap jual.

Hasil Life Cycle Inventory (LCI) menunjukkan bahwa sistem produksi memanfaatkan limbah tempurung kelapa sebagai bahan baku utama yang dipadukan dengan tepung tapioka sebagai perekat serta energi listrik dan bahan bakar fosil sebagai sumber energi pendukung. Penggunaan energi listrik terbesar terjadi pada proses penghalusan arang, sedangkan konsumsi bahan bakar fosil terbesar berasal dari aktivitas transportasi bahan baku dan distribusi produk.

Berdasarkan hasil Life Cycle Impact Assessment (LCIA), total dampak kategori Global Warming Potential (GWP100) mencapai 31,68 kg CO₂-eq per batch

produksi. Setelah dinormalisasi terhadap functional unit sebesar 1 kg briket siap jual, diperoleh nilai jejak karbon sebesar 1,86 kg CO₂-eq/kg briket. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sistem produksi masih menghasilkan emisi gas rumah kaca yang cukup signifikan meskipun menggunakan bahan baku biomassa yang bersifat terbarukan.

Analisis hotspot menunjukkan bahwa aktivitas transportasi bahan baku dan distribusi produk merupakan kontributor utama terhadap total emisi sistem dengan kontribusi kumulatif sebesar 72,60%, sedangkan penggunaan energi listrik pada proses penghalusan, pencampuran, dan pencetakan memberikan kontribusi sebesar 23,76%. Temuan ini mengindikasikan bahwa sumber emisi terbesar dalam sistem produksi bukan berasal dari bahan baku biomassa, melainkan dari penggunaan energi dan bahan bakar fosil yang mendukung proses produksi.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa pemanfaatan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) berpotensi menurunkan total emisi dari 31,68 kg CO₂-eq menjadi 24,15 kg CO₂-eq per batch produksi. Penggunaan energi surya mampu mengurangi jejak karbon produk dari 1,86 kg CO₂-eq/kg briket menjadi 1,42 kg CO₂-eq/kg briket atau menurunkan emisi sebesar 23,76%. Hasil ini menegaskan bahwa integrasi energi terbarukan merupakan strategi yang efektif dalam meningkatkan kinerja lingkungan industri briket berbasis komunitas.

Secara keseluruhan, produksi briket batok kelapa pada Gawah Bonga Foundation menunjukkan potensi yang baik sebagai model pemanfaatan limbah biomassa berbasis ekonomi sirkular. Selain memberikan nilai tambah terhadap limbah tempurung kelapa, sistem produksi ini juga berkontribusi dalam penyediaan energi alternatif yang lebih berkelanjutan dan mendukung upaya pembangunan rendah karbon di wilayah perdesaan.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Gawah Bonga Foundation Kabupaten Lombok Tengah yang telah memberikan akses data, fasilitas penelitian, dan dukungan selama proses pengumpulan data lapangan. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Mataram atas dukungan akademik yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi khusus diberikan kepada seluruh masyarakat dan pelaku usaha pengolahan kelapa yang telah berpartisipasi dalam penyediaan informasi dan data yang diperlukan dalam penyusunan kajian ini.

Referensi

- Adi, W. B., Adiansyah, J. S., & Muladi, A. (2024). Evaluasi jejak karbon produk tahu di Kelurahan Abian Tubuh Kota Mataram menggunakan pendekatan penilaian daur hidup (Life Cycle Assessment). *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(2), 439–446.
- Adiansyah, J. S. (2019). Improving the environmental performance of a copper mine site in Indonesia by implementing potential greenhouse gas emissions reduction activities. *Chemical Engineering Transactions*, 72, 55–60.
- Adiansyah, J. S. (2024). *Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment)*. Yogyakarta: Deepublish.
- Adiansyah, J. S., Hadiyanto, H., & Ningrum, N. P. (2021). Application of Life Cycle Assessment for improving the energy and waste management strategy: A case study of fertilizer plant in Indonesia. *Chemical Engineering Transactions*, 89, 145–150.
- Adiansyah, J. S., Ningrum, N. P., Pratiwi, D., & Hadiyanto, H. (2019). Kajian daur hidup (Life Cycle Assessment) dalam produksi pupuk urea: Studi kasus PT Pupuk Kujang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(3), 522–527.
- Ajien, M., Alimuddin, A., & Rahman, A. (2022). Coconut shell and husk biochar: A review of production technology, economic aspects and environmental applications. *Waste Management and Research*, 40(8), 1053–1071.
- Gallego-Ramírez, C., Vargas-Morales, G., & Pérez-García, M. (2023). Life Cycle Assessment of raw and Fe-modified biochars produced from agricultural residues. *Materials*, 16(11), 1–18.
- González-García, S., Moreira, M. T., Dias, A. C., & Feijoo, G. (2022). A systematic review and life cycle assessment of biomass pellets and briquettes production in Latin America. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112395.
- Guinée, J. B. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., et al. (2017). ReCiPe 2016: A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138–147.
- ISO 14040. (2006). *Environmental Management—Life Cycle Assessment—Principles and Framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO 14044. (2006). *Environmental Management—Life Cycle Assessment—Requirements and Guidelines*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz, P., & Shaked, S. (2015). *Analyzing the Environmental Impacts of Products and Processes*. Boca Raton: CRC Press.
- Kylili, A., Fokaides, P. A., & López Jiménez, P. A. (2016). Key challenges and barriers for the promotion of renewable energy technologies. *Renewable Energy*, 94, 196–203.
- Nabavi-Pelesaraei, A., Bayat, R., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., et al. (2021). Life cycle assessment of bioenergy production systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 137, 110593.
- Ningrum, N. P., Adiansyah, J. S., & Hadiyanto. (2020). Environmental impact assessment using Life Cycle Assessment in Indonesian manufacturing industries. *E3S Web of Conferences*, 202, 1–7.
- Quispe, I., Rojas, D., Salinas, P., & Cárdenas, J. (2023). Environmental Life Cycle Assessment of biomass and cardboard waste-based briquettes production and consumption in Andean areas. *Energy for Sustainable Development*, 73, 270–281.
- Rafiee, S., Avval, S. H. M., & Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, 35(8), 3301–3306.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., et al. (2009). A review of Life Cycle Assessment on some food products. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 1–10.
- Saidur, R., Abdelaziz, E. A., Demirbas, A., Hossain, M. S., & Mekhilef, S. (2011). A review on biomass as a fuel for boilers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2262–2289.
- Searchinger, T., Wiersenius, S., Beringer, T., & Dumas, P. (2018). Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature*, 564(7735), 249–253.
- Singh, R. K., Murty, H. R., Gupta, S. K., & Dikshit, A. K. (2012). An overview of sustainability assessment methodologies. *Ecological Indicators*, 15(1), 281–299.
- Uihlein, A., & Schebek, L. (2009). Environmental impacts of a lignocellulosic feedstock biorefinery system. *Biomass and Bioenergy*, 33(5), 793–802.
- UNEP. (2021). *Global Environment Outlook 6: Healthy Planet, Healthy People*. Nairobi: United Nations Environment Programme.
- World Bank. (2023). *Indonesia Climate and Development Report*. Washington DC: World Bank.