

Analisis life cycle assessment produksi biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka

Harmiansyah^{1*}, Meidaliyantisyah², Fachrina Edriyanti Ferlin¹, Hafiz Hasbi¹,
Innez Nabila¹, Angel Era Fazira³

¹Program Studi Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365

²Badan Riset dan Inovasi Nasional, Cibinong Science Center
Jl. Raya Jakarta-Bogor, KM 46, Cibinong, Bogor, 16915 dan
Jl. Raya Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan, Banten, 15343

³Program Studi Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera
Jl. Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365
Email korespondensi: harmiansyah@tbs.itera.ac.id

Received: 21 February 2025, Reviewed: 25 March 2025, Published: 30 April 2026
<https://doi.org/10.71452/jtmi211202646>

Abstrak. Energi terbarukan menjadi salah satu inovasi yang efektif untuk mengatasi keterbatasan energi yang bersumber dari fosil seperti batu bara. Energi biomassa dengan memanfaatkan limbah seperti bonggol jagung menjadi biobriket telah banyak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi oleh konsumen, namun diperlukan kajian yang komprehensif untuk menganalisis dampak lingkungan pada proses produksi biobriket. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak lingkungan pada proses produksi biobriket bonggol jagung dengan perekat tapioka. Metodologi penelitian ini terdiri dari 4 langkah meliputi: definisi tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori, analisis dampak lingkungan, dan interpretasi data. Penelitian ini menggunakan 3 impact kategori yaitu marine aquatic ecotoxicity, abiotic depletion, dan global warming serta aplikasi openLCA digunakan untuk simulasi analisis dampak lingkungan. Hasil LCA menunjukkan bahwa tahap karbonisasi, terutama penggunaan diesel, berkontribusi signifikan terhadap emisi. Oleh karena itu, perbaikan direkomendasikan, seperti penggantian bahan bakar diesel dengan alternatif yang ramah lingkungan, peningkatan efisiensi energi, dan eksplorasi metode karbonisasi berkelanjutan. Metode LCA digunakan untuk memberikan pandangan komprehensif terkait keberlanjutan biobriket, dengan tujuan memberikan pemahaman mendalam tentang efisiensi dan dampak lingkungan. Implementasi perbaikan diharapkan dapat mengurangi dampak lingkungan dan meningkatkan keberlanjutan produk.

Kata kunci: biomassa, energi terbarukan, biobriket, life cycle assessment (LCA).

Abstract. Renewable energy is one of the effective innovations to overcome the limitations of energy sourced from fossils such as coal. Biomass energy by utilizing waste such as corn cobs into biobriquettes has been widely developed to meet the energy needs of consumers, but a comprehensive study is needed to analyze the environmental impact on the biobriquette production process. Therefore, the purpose of this study is to analyze the environmental impact on the production process of corn cob biobriquettes with tapioca adhesive. The methodology of this research consists of 4 steps including: definition of objectives and scope, inventory analysis, environmental impact analysis, and data interpretation. This study uses 3 impact categories, namely marine aquatic ecotoxicity, abiotic depletion, and global warming and the openLCA application is used for environmental impact analysis simulation. The results of the LCA show that the carbonization stage, especially the use of diesel, contributes significantly to emissions. Therefore, improvements are recommended, such as replacing diesel fuel with environmentally friendly alternatives, improving energy efficiency, and exploring sustainable carbonization methods. The LCA method is used to provide a comprehensive view regarding the sustainability of biobriquettes, to provide an in-depth understanding of the efficiency and environmental impact. The implementation of improvements is expected to reduce environmental impact and improve product sustainability.

Keywords: biomass, renewable energy, biobriquettes, life cycle assessment (LCA)

PENDAHULUAN

Dalam konteks kompleksnya isu energi, permintaan batu bara di Indonesia terus meningkat seiring peningkatan signifikan dalam penggunaan listrik. Proyeksi menunjukkan bahwa permintaan ini akan terus bertumbuh sebesar 4,8% dimulai dari angka 76 juta ton pada tahun 2015 sampai dengan 151 juta ton pada tahun 2022 [1]. Dinamika ini dapat dipahami sebagai respons terhadap fokus pemerintah Indonesia dalam mencapai ketahanan energi, di mana batu bara dan energi terbarukan dianggap sebagai salah satu sumber energi utama yang semakin

penting dalam menjawab tantangan keberlanjutan global [2]. Dengan pertumbuhan ekonomi yang meningkat, permintaan energi di Indonesia juga mengalami peningkatan signifikan. Dengan melihat bahwa konsumsi listrik di Indonesia naik sekitar 26% dalam empat tahun terakhir, konsumsi listrik per kapita Indonesia meningkat dari 812 kWh menjadi 1.021 kWh [3]. Namun, lebih dari 80% produksi listrik masih berasal dari sumber fosil, dengan 60% berasal dari batu bara. Hanya 12% listrik berasal dari energi terbarukan, mengindikasikan ketergantungan yang perlu diperhatikan untuk mencapai keberlanjutan energi [3]. Hal ini menunjukkan perlunya

perhatian lebih terhadap pengembangan dan penerapan teknologi energi terbarukan, salah satunya dengan penggunaan biobriket [4].

Biobriket merupakan arang yang berasal dari bahan organik kemudian dicampur perekat dan dicetak dengan tekanan tertentu [5]. Bahan utama pada pembuatan briket kali ini yaitu limbah bonggol jagung [6]. Perekat yang digunakan pada arang dari bonggol jagung tersebut berupa tepung tapioka yang berasal dari tanaman ubi kayu (singkong) [7]. Pada proses pembuatan biobriket ini melalui enam tahapan, yaitu karbonisasi, penggilingan, pembuatan perekat, pencampuran, pencetakan, dan pengeringan, tentunya dalam proses tersebut dapat menghasilkan dampak pada lingkungan.

Penerapan metode berupa *Life Cycle Assessment* (LCA) pada penggunaan biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka menjadi langkah penting dalam menjaga keberlanjutan dan dampak lingkungan dari suatu teknologi atau produk. Dengan menganalisis setiap tahap dalam pembuatan biobriket ini, diawali dengan pengambilan bahan baku, produksi, dan penggunaan sampai akhir produksi melalui studi literatur, LCA memberikan wawasan yang mendalam tentang efisiensi dan dampak lingkungan dari alternatif energi yang digunakan [8][9]. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan pandangan yang komprehensif terhadap keberlanjutan biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka. Melalui analisis ini, penelitian bertujuan memberikan pemahaman mendalam terkait efisiensi, keberlanjutan, dan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan dampak lingkungan yang lebih positif.

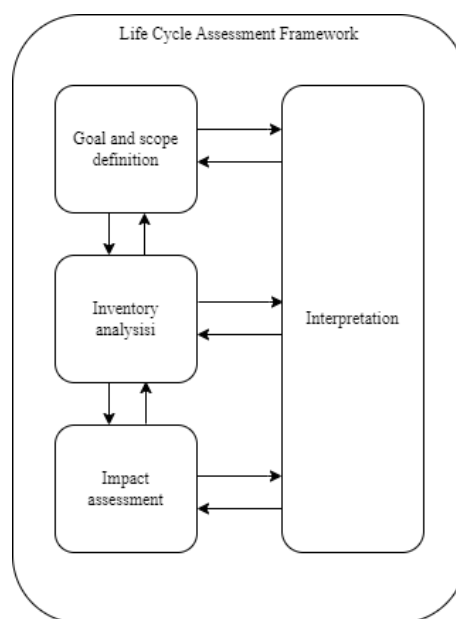
METODE

Metode LCA terdiri dari 4 langkah meliputi: definisi tujuan dan ruang lingkup (*Goal and Scope Definition*), analisis inventori (*Life Cycle Inventory*), analisis dampak lingkungan (*Life Cycle Impact Assessment*), dan interpretasi data (*Interpretation of Data*) [10]. Tahap analisis LCA dapat dilihat pada Gambar 1.

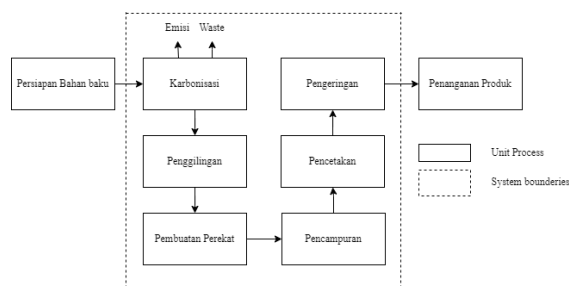
Goal and Scope

Diawali dengan menganalisis LCA untuk menentukan tujuan serta ruang lingkup/batasan permasalahan yang ingin dikaji. Pembuatan tujuan melibatkan klarifikasi maksud aplikasi LCA, alasan dibalik penggunaan LCA, dan target yang akan dipahami oleh audien dari hasil LCA [11]. Penentuan ruang lingkup dengan menentukan unit fungsional [12]. Unit fungsional yang digunakan dalam penelitian ini adalah proses pembuatan biobriket dari bonggol jagung sebanyak 28 kg dengan perekat tapioka dan menghasilkan briket sebanyak 5,69 kg. Tujuan yang ingin dicapai pada analisis LCA ini yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan yang akan terjadi akibat produksi biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka. Pendekatan dalam LCA terdapat empat jenis, yaitu cradle-to-grave, cradle-to-gate, gate-to-gate, gate-to-grave berdasarkan (ISO 14040, 2006). Penelitian ini menggunakan pendekatan *gate-to-gate* yang akan membahas tentang pemakaian biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka yang dimulai dari proses

karbonisasi, penggilingan, pembuatan perekat, pencampuran, pencetakan, dan pengeringan. Batasan sistem penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Tahap Analisis LCA [10]



Gambar 2 System Boundaries

Life Cycle Inventory (LCI)

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh penginputan data sekunder yang didapatkan dari penelitian [5] yang meliputi bonggol jagung, energi yang dimanfaatkan, emisi yang dikeluarkan, dan waste dari pemakaian biobriket [13]. Analisis LCA ini menggunakan bantuan software OpenLCA dan menggunakan database Agribalyse_v301_270052021.

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahapan berikutnya digunakan dalam menentukan metode yang akan digunakan dalam penelitian ini. Tahap ini digunakan untuk menganalisis besar dampak lingkungan yang diperoleh dari penggunaan biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka. Penelitian ini menggunakan metode CML-IA baseline yang berfokus pada dampak lingkungan dari siklus hidup ekstraksi bahan baku hingga menjadi limbah [14]. Dampak yang akan dianalisis meliputi tiga dampak, yaitu marine aquatic ecotoxicity (MAE), abiotic depletion (fossil fuels), dan global warming (GWP100a).

Interpretation of Data

Tahap ini bertujuan untuk mengidentifikasi serta menilai dampak lingkungan yang diperoleh dari hasil analisis dampak lingkungan dari pemakaian biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka [15]. Dampak MAE, *fossil fuels*, dan GWP 100a yang dihasilkan akan dievaluasi agar penggunaan biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka akan lebih ramah lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis LCA

LCA merupakan salah satu metode analisis dampak lingkungan yang bertujuan untuk mengevaluasi apabila siklus hidup dari produk tersebut bernilai buruk [16]. Analisis pada penelitian ini terdiri dari proses pembuatan

biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka melalui enam tahapan proses yang terdiri dari tahap karbonisasi, tahap penggilingan, tahap pembuatan perekat, tahap pencampuran, tahap pencetakan, dan terakhir tahap pengeringan. Parameter yang digunakan dalam menganalisis biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka adalah komposisi bahan baku dan emisi yang dihasilkan.

LCI

Pada proses ini perlu dilakukan pencatatan dan pengumpulan data terkait *input dan output dari suatu produk biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka, yang dilandaskan pada Goal and Scope Definition* yang telah ditetapkan sebelumnya. Adapun data inventori yang digunakan pada produk biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Inventori [5]

Tahapan Proses	Input Material		Satuan	Output Material		
	Material	Unit		Material	Unit	Satuan
Karbonisasi	Tongkol Jagung	28,00	kg	Arang	5,30	kg
	Solar	250	ml	Asap cair Kasar	4,65	kg
	Energi Pembakaran Solar	0.61151	MJ	Tongkol Tak Terarangkan	2,38	kg
Penggilingan	Arang	5,30	kg	Tepung Arang	5,29	kg
Pembuatan Perekat	Tapioka	0,43	kg	Perekat	4,29	kg
	Air	3,86	kg			
Pencampuran	Tepung Arang	5,29	kg	Campuran Bahan	9,58	kg
	Perekat	4,29	kg			
Pencetakan	Campuran Bahan	9,58	kg	Briket Basah	9,00	kg
Pengeringan	Briket Basah	9,00	kg	Briket Kering	5,69	kg

LCIA

Tahap LCIA memiliki tujuan untuk mengetahui hasil dari analisis LCI untuk mempermudah memahami dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pembuatan biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka. Tahapan LCIA ini diawali dengan pemilihan karakteristik dengan metode CML-AI Baseline. Data yang telah dimasukkan pada tahap LCI akan memperoleh beberapa

kategori dampak lingkungan yang telah disesuaikan dengan database dan metode yang digunakan. Penelitian ini membahas tiga dampak tertinggi yang dihasilkan, yaitu MAE, *fossil fuels*, dan GWP 100a. Pada Tabel. 2 dapat dilihat nilai yang dihasilkan dari ketiga dampak yang dihasilkan dari produksi briket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka persatu kilogram beserta nilai standar yang dapat diterima

Tabel 2 Impact Category

Impact Category	Jumlah Total	Kesimpulan	Standar
Marine Aquatic Ecotoxicity	3.901025941 kg 1,4-DB	Nilai yang didapatkan untuk <i>Marine Aquatic ecotoxicity</i> besar dan mempengaruhi	PP No 82 Tahun 2001 nilai indeks pencemaran air jika $< 0 \text{ IP} < 1,0$ tidak mempengaruhi pencemaran terhadap air
Abiotic Depletion (Fossil Fuels)	0.73077 MJ	Nilai <i>fossil fuels</i> tidak berpengaruh signifikan terhadap resources	ISO 14040 menyatakan presentase dampak tiap nilai yaitu kontribusi $< 10\%$ sedikit pengaruh, $10\% < \text{kontribusi} < 25\%$ cukup berpengaruh, $25\% < \text{kontribusi} < 50\%$ pengaruh relevan, kontribusi $> 50\%$ pengaruh signifikan
Global Warming (GWP100a)	0.051565802 kg CO ₂ eq	Nilai GWP100a yang didapatkan cukup besar dan beresiko atau tidak aman	Environmental Protection Agency (EPA) yang bisa diterima yaitu 1E-4

Ketiga nilai dampak tersebut berasal dari proses karbonisasi bonggol jagung. Dapat dilihat penyebab emisi

yang dihasilkan dari ketiga dampak pada proses karbonisasi bonggol jagung pada Tabel 3.

Tabel 3 Penyebab Emisi yang dihasilkan

Proses	Emisi MAE	Emisi <i>fossil fuels</i>	Emisi GWP 100a
Bahan Baku diesel	-	-	0.051565802 kg CO ₂ eq
Energi Pembakaran diesel	3.634533961 kg 1,4-DB eq	0.720677265 MJ	0.043440442 kg CO ₂ eq

<i>Market for diesel</i>	0.052265203 kg 1,4-DB eq	0.000421272 MJ	4.55968E-05 kg CO ₂ eq
<i>Market for transport</i>	0.214226778 kg 1,4-DB eq	0.009671716 MJ	0.000682943 kg CO ₂ eq

Hasil yang ditunjukkan pada tabel di atas menunjukkan bahwa emisi MAE berasal dari dampak energi pembakaran diesel sebanyak 3.634533961 kg 1,4-DB eq, *market for diesel* sebesar 0.052265203 kg 1,4-DB eq, dan *market for transport* sebanyak 0.214226778 kg 1,4-DB eq pada proses karbonisasi bonggol jagung. Emisi tersebut mengakibatkan peningkatan kandungan nutrient yang menyebabkan dampak pada ekosistem laut [17]. Emisi *fossil fuels* berasal dari energi pembakaran diesel sebanyak 30.720677265 MJ, *market for diesel* sebesar 0.000421272 MJ, dan *market for transport* sebanyak 0.009671716 MJ saat proses karbonisasi bonggol jagung. Diesel yang digunakan pada proses karbonisasi mengakibatkan berkurangnya sumber daya tak terbarukan yang menyebabkan dampak asidifikasi itu sendiri [17]. Emisi GWP 100a berasal dari bahan baku diesel sebanyak 0.051565802 kg CO₂ eq, energi pembakaran diesel sebanyak 0.043440442 kg CO₂ eq, *market for diesel* sebanyak 4.55968E-05 kg CO₂ eq, dan *market for transport* sebanyak 0.000682943 kg CO₂ eq yang berasal dari proses karbonisasi bonggol jagung tersebut. Emisi GWP 100a tersebut memicu potensi pemanasan global yang disebabkan oleh gas CO₂ dan metana CH₄ [18].

Interpretation of data

Tahap interpretasi data merupakan tahap terakhir pada analisis LCA pada biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka. Interpretasi yang dihasilkan bernilai pada dampak MAE sebesar 3.901025941 kg 1,4-DB, nilai dampak *fossil fuels* sebesar 0.73077 MJ, dan nilai GWP100a sebesar 0.051565802 kg CO₂ eq. Berdasarkan analisis pada tahap LCIA, nilai MAE, *fossil fuels*, dan GWP100a yang dihasilkan berasal dari tahap karbonisasi karena proses pembakaran bonggol jagung tersebut menggunakan diesel, sehingga emisi yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Oleh karena itu, pembakaran bonggol jagung pada tahap karbonisasi perlu adanya perbaikan dengan mengurangi atau mengganti bahan baku dieselnnya untuk membatasi emisi yang dihasilkan dari proses produksi.

KESIMPULAN

Dalam analisis LCA terhadap produksi biobriket dari bonggol jagung dengan perekat tapioka, didapati bahwa

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mingshen, M. B. Yohanes, and S. P. Sinaga, "Perubahan Iklim: Tinjauan Holistik Sektor Batubara," *Parahyangan Econ. Dev. Rev.*, vol. 1, no. 2, pp. 116–130, 2022.
- [2] D. Simatupang, L. Barasa, and D. M. Kusuma, "Optimalisasi Kegiatan Bongkar Muat Batu Bara PT Kartika Samudra Adijaya pada Floating Crane di Bunati Kalimantan Selatan," *Pros. Semin. Has. Penelit. Dosen*, vol. 1, no. 1, pp. 100–106, 2019.
- [3] D. Arinaldo and J. C. Adiatma, *Dinamika Batu Bara Indonesia: Menuju Transisi Energi yang Adil*. 2019.
- [4] A. Jayanti, A. Adriani, M. Kristiani, and A. H. B. Hapsani, "Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung Dan Getah Karet Sebagai Bahan Baku Dalam Pembuatan Biobriket," *J. Agric Ekstensi*, vol. 14, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [5] W. Agustina, "Analisis Material dan Energi pada Produksi Bio-Briket Arang Tongkol Jagung," *J. Ris. Teknol. Ind.*, vol. 10, no. 1, pp. 56–63, 2016.

tahap karbonisasi, terutama dalam proses pembakaran bonggol jagung menggunakan diesel, menjadi penyumbang utama emisi MAE, *fossil fuels*, dan GWP100a. Kesimpulan dari interpretasi menunjukkan bahwa proses karbonisasi dalam proses pembuatan biobriket tersebut memberi dampak pada lingkungan yang melebihi batas standar. Untuk meminimalkan dampak lingkungan, disarankan adanya perbaikan pada tahap karbonisasi dengan mengganti atau mengurangi bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan, peningkatan efisiensi energi, dan pertimbangan terhadap proses karbonisasi alternatif. Implementasi perbaikan tersebut diharapkan dapat mengurangi emisi yang dihasilkan secara signifikan dan meningkatkan keberlanjutan siklus produk.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini hanya menggunakan pendekatan gate-to-gate sehingga belum mempertimbangkan tahap distribusi dan penggunaan produk. Selain itu, penelitian ini masih menggunakan data sekunder.

Saran Penelitian Lanjutan

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan pendekatan cradle-to-grave serta membandingkan beberapa jenis bahan bakar pada proses karbonisasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini: Secara khusus, peneliti mengucapkan terima kasih kepada Institut Teknologi Sumatera dan Badan Riset dan Inovasi Nasional atas dukungan data dan fasilitas selama pelaksanaan penelitian. Semoga amal baik semua pihak mendapatkan balasan yang baik.

- [6] R. Rifdah, N. Herawati, and F. Dubron, "Pembuatan Biobriket Dari Limbah Tongkol Jagung Pedagang Jagung Rebus Dan Rumah Tangga Sebagai Bahan Bakar Energi Terbarukan Dengan Proses Karbonisasi," *J. Distilasi*, vol. 2, no. 2, p. 39, 2018.
- [7] S. Asri, "Efisiensi Konsentrasi Perekat Tepung Tapioka Terhadap Nilai Kalor Pembakaran pada Biobriket Batang Jagung (*Zea mays* L.)," *J. Teknosains*, vol. 7, pp. 78–89, 2013.
- [8] P. P. Parameswari, M. Yani, and A. Ismayana, "Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assesment) Produk Kina Di PT Sinkona Indonesia Lestari," *J. Ilmu Lingkungan*, vol. 17, no. 2, pp. 351–358, 2019.
- [9] H. Stančin, V. Strezov, and H. Mikulčić, "Life Cycle Assessment of Alternative Fuel Production by Co-Pyrolysis of Waste Biomass and Plastics," *J. Clean. Prod.*, vol. 414, 2023.
- [10] D. Cahyani, A. Haryanto, G. A. Putra, R. Fil'Aini, and D. S. S. Marpaung, "Life cycle assessment of biogas digester in small scale tapioca industry," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 258, no. 1, 2019.
- [11] A. Z. Nugraha, E. I. Wiloso, and M. Yani, "Pemanfaatan Serbuk Gergaji Sebagai Substitusi Bahan Bakar Pada Proses Pembakaran - Kiln Di Pabrik Semen Dengan Pendekatan Life Cycle Assesment (Lca)," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.)*, vol. 8, no. 2, pp. 188–198, 2018.
- [12] D. A. Prasidya, R. Novembrianto, Munawar, M. A. S. Jawwad, and M. N. Rhomadhoni, "Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan," *Envirotek J. Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 14, no. 2, pp. 169–175, 2022.
- [13] Damiri and Irwan Bagyo Santoso, "Kajian Dampak Proses Produksi Tapioka Terhadap Lingkungan dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)," *J. Darma Agung*, vol. 30, no. 2, pp. 1177–1197, 2022.
- [14] W. Agung, C. Nugroho, M. Hidayat, and J. Waluyo, "ANALISIS LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) UNTUK REVITALISASI PENGELOLAAN SAMPAH KOTA," no. Ciastech, pp. 677–685, 2025.
- [15] A. A. Prafitri and N. Karnaningroem, "Kajian Dampak Lingkungan Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Mulsa Menggunakan Metode Life Cycle Assessment," *J. Darma Agung*, vol. 30, no. 2, pp. 1164–1176, 2022.
- [16] A. Luthfia, M. S. Abfertiawan, S. Nuraprianisandi, K. Pranoto, P. R. Samban, and A. Elistyandari, "Penggunaan Life Cycle Assessment dalam Penilaian Resiko Dampak Lingkungan dan Pemilihan Alternatif Teknologi di Pertambangan Batubara Indonesia," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI*, 2021, vol. 2, no. 1, pp. 160–174.
- [17] A. Yudha, D. Abdu, and F. Assomadi, "Kajian Dampak Emisi Udara Pada Produksi Minyak Bumi Di Perusahaan 'a' Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (Lca) Assessment of the Impact of Air Emissions on Petroleum Production in Company 'a' Using the Life Cycle Assessment (Lca) Method," *J. Purifikasi*, vol. 21, pp. 52–60, 2022.
- [18] M. Syukri, I. Ucha, P. Rangkuti, K. Ali, T. Harahap, and T. Nurhidayat, "Pengaruh Variasi Ukuran Partikel pada Pembuatan Bio-Briket dari Pelepah dan Tandan Buah Kosong Kelapa Sawit The Effect of Particle Size Variations on Bio-Briquettes from Palm Fronds and Empty Fruit Bunches," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 13, no. 2, pp. 146–153, 2024.