

Analisis Dampak Lingkungan Pemanfaatan Biomassa Menjadi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) dengan metode LCA

^{1*}Khumaidah Darajat, ¹Valencia Safir Maharani, ²Tiara Ramadhanti Puspo, ¹Zulaikha Suci Rosa Pardede

¹Teknik Lingkungan, Institut Teknologi PLN, Jakarta

²Geografi, Institut Teknologi PLN, Jakarta

E-mail: ^{1*}khumaidah@itpln.ac.id, valencia@itpln.ac.id, tiara.ramadhanti@itpln.ac.id

ABSTRAK

Peningkatan populasi manusia berbanding lurus dengan perkembangan industri dan peningkatan kebutuhan energi. Bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi akan menghasilkan dampak lingkungan emisi gas rumah kaca, perlu menjadi perhatian bersama. Pemanfaatan sumber energi terbarukan menjadi salah satu upaya untuk menurunkan dampak lingkungan tersebut. Biomassa merupakan salah satu solusi sumber energi yang berasal dari sampah. Salah satu produk dari biomassa adalah *Refuse-Derived Fuel* (RDF). Pembuatan RDF akan menurunkan jumlah timbulan sampah melalui proses pemilahan, pencacahan dan pengeringan. Karakteristik RDF berpengaruh pada proses dan hasil kinerja pembakaran pada boiler mini. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan awal yang dihasilkan oleh RDF. Penelitian berskala laboratorium pada unit boiler mini akan menjadi model acuan untuk dampak lingkungan yang dihasilkan sebelum penggunaan skala besar. Metode analisis dampak lingkungan yang digunakan adalah *Life Cycle Assessment* (LCA). Batasan sistem yang digunakan adalah *gate to gate* mulai dari unit proses pembakaran RDF dalam boiler mini hingga dihasilkan limbah sisa pembakaran. Hasil analisis berdasarkan 5 kategori dampak yaitu *Fine particulate matter formation* sebesar $8,91E-07$, *Fossil resource scarcity* sebesar 0.31610 , dampak *Freshwater ecotoxicity* sebesar $5,55E-13$, dan *Global warming, Freshwater ecosystems* sebesar $1,36E-15$.

Kata kunci : biomassa, LCA, RDF, sampah

ABSTRACT

The increase in human population is directly proportional to industrial development and increased energy needs. Fossil fuels, which are a source of energy, produce greenhouse gas emissions that have an impact on the environment and need to be addressed collectively. The use of renewable energy sources is one of the efforts to reduce these environmental impacts. Biomass is one of the energy solutions that comes from waste. One of the products of biomass is *Refuse-Derived Fuel* (RDF). The production of RDF will reduce the amount of waste through the processes of sorting, shredding, and drying. The characteristics of RDF affect the process and performance of combustion in mini boilers. This study aims to analyze the initial environmental impact of RDF. Laboratory-scale research on mini boiler units will serve as a reference model for the environmental impact before large-scale use. The environmental impact analysis method used is *Life Cycle Assessment* (LCA). The system boundary used is *gate to gate*, starting from the RDF combustion process unit in a mini boiler to the production of combustion waste. The results of the analysis are based on five impact categories, namely *Fine particulate matter formation* of $8.91E-$

07, Fossil resource scarcity of 0.31610, Freshwater ecotoxicity of 5.55E-13, and Global warming, Freshwater ecosystems of 1.36E-15.

Keyword : biomass, LCA, RDF, solid waste

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang semakin pesat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan perkembangan industri global. Ketergantungan pada bahan bakar fosil ini menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, diantaranya emisi gas rumah kaca yang mana hal ini berkontribusi terhadap terjadinya perubahan iklim dan isu keberlanjutan akan sumber daya (Intergovernmental Panel On Climate Change (Ipcc), 2023). Pemanfaatan sumber energi alternatif ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadikan biomassa sebagai sumber energi terbarukan yang berasal dari bahan organik, menjadi pilihan alternatif karena menawarkan potensi signifikan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan memitigasi dampak perubahan iklim (Demirbas, 2008). Ketersediaan biomassa yang melimpah dari berbagai sumber, baik dari limbah pertanian, kehutanan, dan limbah padat, menjadikannya pilihan yang menarik untuk menjadi sumber energi (McKendry, 2002). Salah satu bentuk biomassa olahan yang semakin mendapatkan perhatian adalah *Refuse-Derived Fuel* (RDF).

RDF menawarkan solusi ganda untuk pengelolaan sampah dan penyediaan energi. RDF diproduksi dari fraksi mudah terbakar dari limbah padat domestik dan industri melalui proses mekanis, termal, atau biologis (Arena, 2012). Komposisi material dan ukuran RDF yang bervariasi dapat mempengaruhi kinerja pembakaran sehingga pada penelitian ini diaplikasikan pada boiler mini. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari penerapan biomassa ini menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA), dengan fokus pada pengaruh variasi

inputan RDF. LCA merupakan metodologi yang diakui secara internasional untuk mengevaluasi dampak lingkungan suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya, mulai dari ekstraksi bahan baku hingga pembuangan akhir (Rebitzer et al., 2004) (Badan Standardisasi & Nasional, 2006). Metode LCA memungkinkan identifikasi potensi dampak lingkungan pada berbagai kategori, seperti potensi pemanasan global, eutrofikasi, toksisitas, dan penggunaan sumber daya. Penerapan LCA pada pemanfaatan biomassa, penggunaan RDF, sangat penting karena untuk memastikan bahwa transisi ke sumber energi alternatif ini dapat memberikan manfaat ke lingkungan seperti yang diharapkan dan tidak menimbulkan pergeseran beban dampak ke tahapan siklus hidup yang lain (Finnveden et al., 2009). Hasil analisis dan interpretasi, digunakan sebagai dasar merumuskan rekomendasi praktis terkait inputan RDF yang optimal untuk meminimalkan dampak lingkungan.

2. LANDASAN TEORI

Biomassa

Biomassa berasal dari senyawa organik seperti kayu, limbah organik rumah tangga, limbah organik perkebunan yang berpotensi menjadi sumber energi terbarukan untuk pengganti bahan bakar fosil dan pembangkit listrik. Pengolahan biomassa menjadi RDF, etanol, biodiesel, biogas, akan menjadi nilai tambah karena lebih ramah lingkungan dan ketersediaan yang mencukupi. Namun terdapat kendala dalam pemanfaatan energi biomassa karena keterbatasan teknologi dan pendanaan maupun regulasi dari pemerintah ataupun instansi yang berkaitan (Primadanty, 2024).

Produksi biomassa yaitu briket dan pelet memiliki tren dominan sejak tahun 2020 karena proses yang mudah dan jumlah perminat yang relatif stabil. Selain itu, teknologi boiler yang menggunakan biomassa juga meningkat karena sesuai dengan tujuan transisi energi nasional dan keberlanjutan lingkungan. Dampak yang terlihat dari penggunaan biomassa adalah penurunan emisi gas (Prastyo et al., 2025)

Refuse-Derived Fuel (RDF)

Menurut (Maulidayanti et al., 2024) RDF atau yang biasa disebut dengan bahan bakar jumpitan dalam bahasa Indonesia. RDF adalah salah satu bentuk dari biomassa yang melalui proses pemisahan, pencacahan dan pengeringan. Kualitas RDF merupakan indikator penting yang menentukan proses, seperti nilai kalor, kadar air, kadar abu, kandungan klorin dan kandungan sulfur dan nitrogen. Syarat nilai kalor merupakan kunci utama dari pemanfaatan RDF. Sampah yang akan diolah menjadi RDF harus mencapai nilai kalor minimal yaitu 7MJ/kg, apabila belum mencapai maka perlu dilakukan pra pengolahan. Peningkatan nilai kalor berkaitan dengan proses yang dilakukan. Selain itu, ukuran partikel dan densitas juga akan mempengaruhi jenis dan kualitas RDF (Taufiqurohim et al., 2025).

Penilaian dampak lingkungan dari RDF yang berbasis data akan menjadi acuan untuk penerapan perkembangan teknologi transisi energi. LCA merupakan salah satu metode yang mampu mengetahui, membandingkan dan meninjau terkait dampak lingkungan. Hasil dari LCA diharapkan dapat menjadi acuan pemerintah dan instansi terkait untuk merancang kebijakan terkait RDF (Farhah et al., 2025).

3. METODOLOGI

Penelitian ini membutuhkan data primer yang berasal dari uji laboratorium RDF sebagai bahan bakar boiler mini

sedangkan data sekunder merupakan data diperoleh dari literatur dan database. Batasan terkait literatur yang menjadi acuan adalah publikasi dalam rentang maksimal 25 tahun yaitu tahun 2000 hingga 2025. Penginputan data untuk analisis LCA dalam perangkat lunak OpenLCA akan melalui tahapan sebagai berikut :

a. Penentuan *goal and scopes*

Penentuan tujuan dan cakupan didasarkan tujuan penelitian, identifikasi emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran RDF dan merumuskan dampak lingkungan yang mungkin ditimbulkannya.

b. Analisis data *inventory*

Merupakan inventarisasi input dan output yang berhubungan dengan lingkup penelitian. Semua yang berkaitan dengan kegiatan yang dilakukan di input datanya serta emisi yang dihasilkannya.

c. *Impact Assesment*

Dampak lingkungan yang dihasilkan akan dinilai menggunakan database IPCC. Hasil penginputan data *life inventory* akan diperoleh grafik dari setiap proses yang menunjukkan nilai *impact assesment* yang menjadi prioritas. Pemilihan prioritas *impact assesment* pada penelitian ini didasarkan pada besarnya dampak yang ditimbulkan sehingga dari 14 *impact assesment* dapat dieliminasi sesuai dengan emisi polutan yang diinputkan.

d. *Characterization* merupakan kegiatan mengalikan senyawa-senyawa kimia yang berkontribusi pada *impact category* dengan *characterization factor* yang digunakan untuk menggambarkan kontribusi relatif suatu substansi. Emisi yang dihasilkan dari setiap kegiatan akan mempengaruhi 14 *impact category*.

e. *Normalization* merupakan tahapan pembagian nilai yang diperoleh dari *impact category* yang telah dipilih yang didasarkan pada dampak

- terbesar dari proses kegiatan produksi dengan nilai normal.
- f. *Weighting* merupakan pembobotan pada *impact category* yang akan dikalikan dengan *weighting factor* dan diakumulasi sehingga mendapatkan *total score*.
 - g. *Single score* merupakan klasifikasi dari semua nilai *impact category* berdasarkan proses maupun material pembentuknya. Hasil dari tahapan ini akan diketahui faktor yang berkontribusi pada dampak lingkungan yang berasal dari material maupun proses.

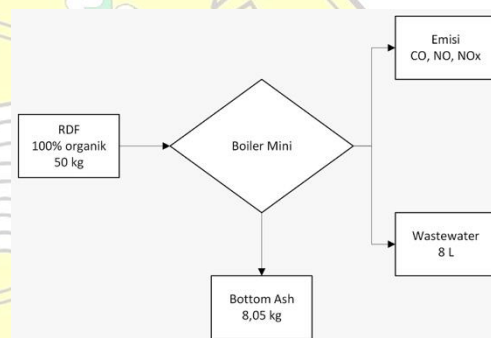
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan dari penerapan biomassa berupa *Refuse-Derived Fuel* (RDF) sebagai bahan bakar yang diaplikasikan dalam boiler mini skala laboratorium dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). LCA merupakan metodologi yang diakui secara internasional untuk mengevaluasi dampak lingkungan suatu produk atau proses sepanjang siklus hidupnya, mulai dari ekstraksi bahan baku hingga pembuangan akhir (Badan Standardisasi & Nasional, 2006; Rebitzer et al., 2004). LCA dalam penelitian ini digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari suatu proses (Nurbaiti et al., 2023). Metode LCA memungkinkan identifikasi potensi dampak lingkungan pada berbagai kategori, seperti potensi pemanasan global, eutrofikasi, toksisitas, dan penggunaan sumber daya. Penerapan LCA pada pemanfaatan biomassa, penggunaan RDF, sangat penting karena untuk memastikan bahwa transisi ke sumber energi alternatif ini dapat memberikan manfaat ke lingkungan seperti yang diharapkan dan tidak menimbulkan pergeseran beban dampak ke tahapan siklus hidup yang lain (Finnveden et al., 2009).

Analisis dampak lingkungan penelitian ini meliputi tahapan berikut:

Penentuan Goals and Scope

Goal adalah terkait tujuan yang ingin dicapai dan hasil LCA yang akan di komunikasikan. *Scope* adalah penentuan langkah awal untuk mendefinisikan secara jelas sistem yang akan dievaluasi yaitu mencakup penentuan *system boundaries* yang merupakan ruang lingkup proses penelitian yaitu *gate to gate* mulai dari unit proses pembakaran RDF dalam Boiler hingga dihasilkan limbah sisa pembakaran. System Boundery kajian LCA pada penelitian ini terdapat pada Gambar 1. *Functional unit* yang digunakan adalah 1 kg, dengan sumber bahan bakar alternatif yaitu RDF.



Gambar 1 System Boundary Kajian LCA Pembakaran RDF pada Boiler Mini

Analisis Data Inventory/Life Cycle Inventory (LCI)

Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada tahapan analisis ini adalah sebagai berikut:

- a. Pengumpulan data yang mencakup spesifikasi semua aliran input dan output dalam suatu proses yang didasarkan pada goal and scope yang telah ditentukan sebelumnya. Inventarisasi data proses pembakaran RDF berdasarkan *functional unit* dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Inventarisasi Data Proses pembakaran RDF

Unit Proses	Input/ Output	Jenis Data	Jumlah	Satuan
Boiler	Input	RDF	50	kg
	Output	CO	3.433,50	ppm
		NO	170,88	ppm
		NOx	185,63	ppm
		Waste Water	8	L
		Bottom Ash	8,05	kg

- b. Menghubungkan data ke unit proses dan unit fungsi berupa input data bahan baku dan output data emisi maupun limbah yang dihasilkan.
- c. Agregasi data dimana Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data input dan output dari setiap unit proses berdasarkan data primer dari penelitian. Untuk satuan yang belum sama, maka dilakukan konversi nilai satuan pada setiap unit proses ke dalam satuan yang sama untuk mempermudah penginputan dan pengolahan data pada software OpenLCA. Pada tahap ini dibutuhkan durasi yang cukup lama dikarenakan kualitas, akurasi dan representasi data akan sangat mempengaruhi hasil interpretasi akhir.

Life Cycle Impact Assesment (LCIA)

Tahap LCIA bertujuan untuk membuat hasil dari analisis dampak menjadi lebih mudah dipahami dan dikelola yang berkaitan dengan kesehatan manusia, ketersediaan sumber daya dan lingkungan.

Pada tahap ini langkah-langkah yang dilakukan adalah:

- a. Pemilihan kategori dampak, indikator kategori dan model karakterisasi, dimana metode yang digunakan yaitu ReCiPe 2016 (H). Penilaian dampak ini bertujuan untuk mengidentifikasi seberapa besar kontribusi suatu proses terhadap dampak lingkungan yang dihasilkan dari suatu proses tersebut.

Pendekatan kategori analisis dampak pada penelitian ini, yaitu secara *endpoint*, dampak lingkungan yang dihasilkan berada pada tingkat pengkategorian yang lebih tinggi dan besar, seperti *human health*, *ecosystem quality*, dan *natural resources*.

- b. Karakterisasi, adalah tahap identifikasi dan pengelompokkan data input yang didapatkan dari tahap LCI kedalam kategori dampak lingkungan sesuai dengan metode serta database yang digunakan. Tahap ini akan mengukur kontribusi dampak suatu produk atau kegiatan pada setiap indikator dampak. Nilai karakterisasi dampak lingkungan pada proses pembakaran RDF ditampilkan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Nilai Karakterisasi Dampak Proses Pembakaran RDF

Kategori Dampak	Unit	Nilai
Fine particulate matter formation	DALY	3,75E-05
Fossil resource scarcity	USD2013	1,13E+00
Freshwater ecotoxicity	species.yr	7,75E-10
Freshwater eutrophication	species.yr	5,54E-09
Global warming, Freshwater ecosystems	species.yr	1,90E-12

- c. Normalisasi, dilakukan untuk menyamakan satuan unit dampak agar mempermudah dalam membandingkan antar kategori dampak. Penyetaraan satuan ini bertujuan untuk dapat membandingkan besaran dari hasil penilaian dampak (LCIA) pada setiap unit proses yang telah dihitung menggunakan *software OpenLCA*. Integrasi data normalisasi dampak lingkungan pada proses pembakaran RDF ditampilkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Nilai Karakterisasi Dampak Proses Pembakaran RDF

Kategori Dampak	Metode	Nilai
<i>Fine particulate matter formation</i>	ReCiPe 2016 Endpoint (H)	8,91E-07
<i>Fossil resource scarcity</i>	ReCiPe 2016 Endpoint (H)	0.31610
<i>Freshwater ecotoxicity</i>	ReCiPe 2016 Endpoint (H)	5,55E-13
<i>Freshwater eutrophication</i>	ReCiPe 2016 Endpoint (H)	3,97E-12
<i>Global warming, Freshwater ecosystems</i>	ReCiPe 2016 Endpoint (H)	1,36E-15

Dari integrasi data normalisasi dampak lingkungan pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa pada pembakaran RDF sebanyak 50kg pada boiler mini menimbulkan 5 (lima) kategori dampak. Dampak yang dihasilkan selama proses pembakaran RDF pada boiler mini terdiri dari dampak primer yaitu *Fine particulate matter formation*, *Fossil resource scarcity*, dampak *Freshwater ecotoxicity* dan *Global warming, Freshwater ecosystems*.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis LCA dengan metode ReCiPe 2016 Endpoint (H), diketahui bahwa dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pembakaran RDF sebanyak 50kg pada boiler mini menimbulkan 5 (lima) kategori dampak. Dampak yang dihasilkan selama proses pembakaran RDF pada boiler mini ini terdiri dari dampak primer yaitu *Fine particulate matter formation* dengan nilai 8,91E-07, *Fossil resource scarcity* sebesar 0.31610, dampak *Freshwater ecotoxicity* sebesar 5,55E-13, dan *Global warming, Freshwater ecosystems* sebesar 1,36E-15.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Institut Teknologi PLN atas

pendanaan melalui LPPM-ITPLN dengan skema Penelitian Dosen Pemula TA 2025 yang tertuang dalam Surat Keputusan Rektor Nomor 0328/SK/1/A0/09/2025.

DAFTAR PUSTAKA

- Arena, U. (2012). Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review. *Waste Management*, 32(4), 625–639. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.09.025>
- Badan Standardisasi & Nasional. (2006). *Internasional Organization for Standardization. ISO 14040:2006 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principal and Framework* [Unpublished manuscript].
- Demirbas, A. (2008). Biofuels sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 2106–2116. <https://doi.org/10.1016/j.enconm.2008.02.020>
- Farhah, A. D., Chaerul, M., & Tomo, H. S. (2025). *Dampak Lingkungan dari Teknologi Pengolahan Sampah Menjadi Energi di Indonesia: Perspektif Life Cycle Assessment*. 10(2).
- Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinée, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D., & Suh, S. (2009). Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.06.018>
- Intergovernmental Panel On Climate Change (Ippc). (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on*

- Climate Change* (1st ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Maulidayanti, E. M., Yuliani, M., Robbani, M. H., Wiharja, W., Hambali, E., & Setyaningsih, D. (2024). Evaluasi Produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan (Studi Kasus: RDF Plant di Kabupaten Cilacap). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(2), 179–189. <https://doi.org/10.55981/jtl.2024.1008>
- McKendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)
- Nurbaiti, G. A., Rachmanto, T. A., & Farahdiba, A. U. (2023). LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) SEBAGAI METODE KAJIAN DAMPAK LINGKUNGAN PROSES PENGOLAHAN AIR BERSIH DI INSTALASI PENGOLAHAN AIR (IPA) SIWALANPANJI. *Envirous*, 2(2), 21–27. <https://doi.org/10.33005/envirous.v2i2.102>
- Prastyo, H., Fadila, A., Syabena, M. F., Umadi, S. S., & Heryanto, A. Y. (2025). *Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif dan Terbarukan Melalui System Literature Review*. 8(2), 407–425.
- Primadanty, R. P. (2024). Potensi Biomassa Dalam Transisi Energi di Indonesia. *PARAHYANGAN ECONOMIC DEVELOPMENT REVIEW*, 2(2), 136–143. <https://doi.org/10.26593/pedr.v2i2.7707>
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.-P., Suh, S., Weidema, B. P., & Pennington, D. W. (2004). Life cycle assessment. *Environment International*, 30(5), 701–720. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2003.11.005>
- Taufiqurohim, T., Krista, G. M., Sajida, G. N., Sari, H. K., & Ferawati, F. (2025). *Studi Potensi Pengolahan Sampah Anorganik Menjadi Refuse Derived Fuel (RDF)*.