



Analisis Emisi Gas Rumah Kaca Pada IPAL Industri Farmasi PT. X Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Nanda Dwi Kartika¹, Wahyu Ugroseno^{1*}

¹ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi: wahyu_ugroseno.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 17-12-2025

Disetujui: 24-12-2025

Diterbitkan: 30-3-2026

Kata Kunci: *Life Cycle Assessment*,
Pengolahan Air Limbah, Emisi Gas
Rumah Kaca, Industri Farmasi

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis emisi Gas Rumah Kaca (GRK) terutama yang disebabkan oleh gas karbondioksida (CO₂) yang dilepaskan ke atmosfer melalui penggunaan listrik yang berperan sebagai sumber energi utama dalam kegiatan operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Farmasi milik PT. X. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang disebabkan oleh penggunaan listrik untuk kegiatan operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri farmasi menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Perhitungan emisi CO₂ dihitung berdasarkan kebutuhan listrik yang digunakan dengan faktor emisi dari CO₂ yang telah ditetapkan oleh Permen ESDM. Hasil menunjukkan bahwa pada pengolahan 1 m³ air limbah berpotensi menimbulkan dampak *global warming* sebesar 9,726 kg CO₂eq dengan kontribusi terbesar berasal dari unit bak aerasi (58,84%) karena penggunaan mesin blower secara kontinu selama 24 jam secara bergantian. Analisis *hotspot* dilakukan untuk mengidentifikasi persentase kontributor berdasarkan proses yang telah dianalisis dan dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi pengurangan emisi yang dapat dilakukan melalui pemanfaatan energi terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) yang dapat menurunkan emisi hingga 4,58 juta ton CO₂eq.

Received: 17-12-2025

Accepted: 24-12-2025

Published: 30-3-2026

Keywords:

Life Cycle Assessment, Wastewater
Treatment, Greenhouse Gas Emissions
(GHG), Pharmaceutical Industry

ABSTRACT

This study analyzes greenhouse gas (GHG) emissions, particularly carbon dioxide (CO₂), resulting from electricity consumption as the main energy source in the operational activities of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) at the pharmaceutical industry PT. X. The objective is to assess the environmental impact of GHG emissions caused by electricity use in the WWTP operations using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. CO₂ emissions were calculated based on electricity usage and emission factors established by the Ministry of Energy and Mineral Resources. The results indicate that treating 1 m³ of wastewater generates a global warming potential of 9.726 kg CO₂eq, with the largest contribution coming from the aeration tank unit (58.84%) due to continuous blower operation. Hotspot analysis identified potential emission reductions through the utilization of renewable energy, specifically Solar Power Plants (PLTS), which could reduce emissions by up to 4.58 million tons of CO₂eq.

1. PENDAHULUAN

Industri farmasi merupakan salah satu industri yang berperan penting bagi suatu negara. Adapun peran dari industri farmasi ini adalah untuk bertanggung jawab dalam menyediakan kebutuhan medis yang aman, bermutu, dan berkhasiat (Subaidah et al., 2023). PT. X merupakan salah satu industri farmasi yang telah memproduksi lebih dari 300 macam produk obat - obatan. Pesatnya laju kebutuhan konsumen akan obat - obatan dapat berperan positif bagi

perkembangan industri, namun hal ini juga berpotensi menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan karena limbah yang akan dihasilkan juga semakin meningkat (Wahyudi, 2024).

Salah satu upaya untuk mengendalikan pencemaran limbah cair industri adalah dengan dibuatnya Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL). IPAL merupakan suatu rangkaian unit yang digunakan untuk mengolah air limbah dan memastikan air limbah yang dibuang telah memenuhi standar baku mutu air limbah yang berlaku (Widyasari et al., 2023). Pada kegiatan

operasional IPAL didukung oleh beberapa alat pendukung seperti pompa, pengaduk (*mixer*) yang digunakan untuk menghomogenkan pencemar, mesin *blower*, dll. Dimana hal tersebut sangat berkaitan dengan penggunaan listrik.

Penggunaan listrik memiliki peran yang krusial di berbagai macam aspek disamping itu penggunaan listrik juga merupakan salah satu penghasil emisi karbon CO₂ yang disebabkan dari bahan baku pembangkit listrik yakni batu bara, gas alam, dan minyak bumi (Rahmawati & Robertus, 2023). Karbondioksida (CO₂) merupakan salah satu golongan Gas Rumah Kaca (GRK). Emisi GRK merupakan kumpulan gas yang terdapat di atmosfer dan dapat memancarkan radiasi dari sinar matahari yang menyebabkan peningkatan pada suhu bumi yang disebut pemanasan global (Wahyudi, 2019). Diketahui karbondioksida (CO₂) merupakan gas yang paling berkontribusi terhadap pemanasan global dengan lebih dari 75% (Sidqi et al., 2024). Dampak dari pemanasan global tidak hanya mempengaruhi kondisi iklim namun dapat menyebabkan perubahan suhu yang drastis dan kerusakan ekosistem (Gahlawat & Lakra, 2020).

Metode pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA) adalah suatu metode yang difungsikan untuk menilai potensi dampak lingkungan yang terjadi dengan memperhitungkan dan mengevaluasi seluruh tahapan yang terjadi. Metode ini merupakan salah satu alat yang baik untuk membuat inventarisasi dari semua emisi dan sumber daya alam yang digunakan (Fikri, 2021). Emisi GRK merupakan salah satu contoh dampak lingkungan yang sering dianalisis menggunakan metode LCA. Emisi ini dapat dijadikan sebuah indikator apakah dalam suatu proses berlangsung secara efisien atau tidak. Regulasi yang ketat kerap menuntut suatu perusahaan / industri untuk meminimasi emisi yang dihasilkan (Wahyudi, 2017)

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dampak emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang disebabkan oleh penggunaan listrik untuk kegiatan operasional Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada industri farmasi menggunakan pendekatan LCA dan menentukan rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan untuk mendukung lingkungan berkelanjutan.

2. METODE

Metode yang digunakan pada analisis ini adalah diawali dengan melakukan identifikasi dan observasi secara langsung di lapangan. Kemudian data yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah data primer berupa data spesifikasi unit IPAL yang digunakan, data hasil pemantauan kualitas air limbah, dan data debit kapasitas air limbah. Sedangkan pada data sekunder menggunakan dokumen kebijakan pemerintah serta studi literatur yang mendukung penelitian. Untuk menghitung emisi gas rumah kaca berdasarkan nilai faktor emisi yang telah ditentukan. Adapun nilai faktor emisi ketenagalistrikan yang digunakan didapatkan dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2019 adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Faktor Emisi GRK Ketenagalistrikan

Nama Grid	Provinsi	Faktor Emisi
-----------	----------	--------------

(ton CO ₂ /MWh)		
Jamali	Jawa Timur	0,87

(Sumber : Permen ESDM, 2019)

Dan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Emisi\ CO_2 = Jml.Energi \times FE \quad (1)$$

(Sumber : Permen ESDM, 2019)

Dengan :

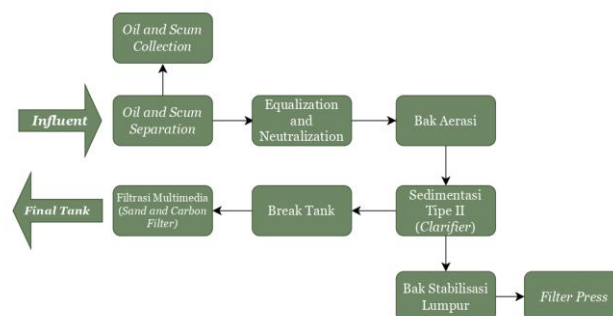
Jml. Energi = Jumlah energi yang digunakan tiap unit (MWh)
FE = Faktor Emisi (0,87 ton CO₂/MWh)

Kerangka kerja pendekatan LCA dilakukan melalui 4 (empat) tahapan sesuai dengan ISO:14040 yakni terdiri atas tahapan penentuan tujuan dan ruang lingkup, analisis inventori daur hidup, penilaian dampak daur hidup, interpretasi, dan rekomendasi perbaikan. Sedangkan untuk metode yang digunakan adalah metode IMPACT 2002+ menggunakan *software* OpenLCA. Metode IMPACT 2002+ merupakan suatu metodologi penilaian dampak yang mengusulkan implementasi dari pendekatan titik tengah dan gabungan sehingga metode ini dapat mengintegrasikan hasil ke dalam kategori kerusakan yang lebih tinggi. Metode ini dipilih dikarenakan dianggap sesuai dengan objek penelitian selain itu metode ini merupakan implementasi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Penentuan Tujuan dan Ruang Lingkup Analisis

Ruang lingkup atau batasan sistem pada analisis ini memiliki sifat *gate to gate*. Pada metode LCA batasan sistem *gate to gate* mencakup satu tahapan dari suatu proses ke proses berikutnya (Adiansyah, 2024). Ruang lingkup yang digunakan meliputi seluruh proses pengolahan air limbah milik PT. X dengan gambar sebagai berikut :



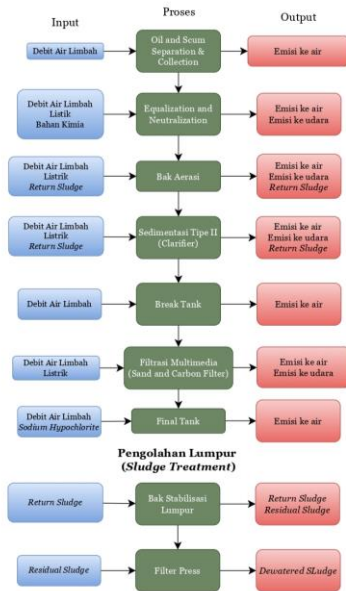
Gambar 1. Ruang Lingkup Analisis (Sumber : Diagram Alir IPAL PT. X)

Kapasitas pengolahan dari IPAL PT. X adalah sebesar 270 m³/hari. Namun, dalam menganalisis menggunakan LCA perlu menentukan unit fungsi (*functional unit*). Unit fungsi merupakan acuan terukur yang digunakan sebagai referensi utama untuk menilai suatu proses atau produk (Sasongko et

al., 2025). Unit fungsi yang digunakan pada analisis ini adalah sebesar 1 m³/hari pengolahan air limbah.

3.2 Analisis Inventori Daur Hidup

Tahapan ini dilakukan dengan menguantifikasi seluruh *input* dan *output* dan suatu proses (KLHK, 2021). Adapun dari analisis ini yang termasuk dalam *input* seperti air limbah yang akan diolah hingga energi listrik yang digunakan untuk mendukung proses tersebut. Dan *output* nya berupa emisi ke air (BOD₅, COD, TSS, NH₃-N, Minyak dan Lemak, serta Total Coliform) dan emisi ke udara berupa gas karbondioksida (CO₂) dari penggunaan listrik. Data inventarisasi dapat disajikan dengan alur sebagai berikut :



Gambar 2. Data Inventarisasi Daur Hidup IPAL PT. X (Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Data kebutuhan listrik dilakukan melalui pendataan daya dari alat - alat yang digunakan pada IPAL PT. X. Pendataan tersebut meliputi kapasitas daya dan jumlah unit. Sedangkan untuk waktu pemakaian adalah selama 24 jam dikarenakan IPAL PT. X memiliki sistem kontinu yang dirancang untuk beroperasi secara otomatis melalui panel kontrol. Adapun jumlah energi tiap unitnya adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Data Kebutuhan Listrik IPAL PT. X

<i>Equalization and Neutralization</i>				
Alat	Daya (kW)	Jumlah Unit	Energi / hari (KWh)	Jumlah Energi Tiap Unit
Dosing Pump	1,5	3	108	196,8
Mixer	1,5	1	36	
Feed Pump	2,2	1	52,8	

Bak Aerasi				
<i>Aeration Blower</i>	18,5	2	888	888
Clarifier				
<i>Sludge Return Pump</i>	15	2	720	720
Filtrasi				
<i>Filter Pump</i>	2,2	2	105,6	105,6
Final Tank				
<i>Dosing Pump</i>	1	1	24	24

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Sehingga dari data di atas dapat digunakan sebagai pendekatan perhitungan emisi CO₂ yang dihasilkan pada salah satu unit yang digunakan sebagai contoh adalah pada unit *clarifier* perhitungannya dapat diuraikan sebagai berikut :
Diketahui :

- Jumlah Energi = 720 kWh → 0,72 MWh
- FE CO₂ = 0,87 ton CO₂ / MWh

$$\begin{aligned}
 \text{Emisi CO}_2 &= \text{Jml. Energi} \times \text{FE} \\
 &= 0,72 \text{ MWh} \times 0,87 \text{ ton CO}_2 / \text{MWh} \\
 &= 0,7726 \text{ ton CO}_2 \\
 &= 772,6 \text{ kg CO}_2
 \end{aligned}$$

Setelah dihitung secara keseluruhan maka didapatkan hasil perhitungan emisi CO₂ yang ditunjukkan pada **Tabel 3**

Tabel 3. Data Perhitungan Emisi CO₂

Unit	Energi / hari (KWh)	Energi / hari (MWh)	Emisi CO ₂ (ton)	Emisi CO ₂ (kg)
<i>Equalization and Neutralization</i>	196,8	0,1968	0,171	171
Bak Aerasi	888	0,888	0,7726	772,6
<i>Clarifier</i>	720	0,720	0,626	626,4
Filtrasi	105,6	0,1056	0,092	92
<i>Final Tank</i>	24	0,024	0,0208	20,88

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

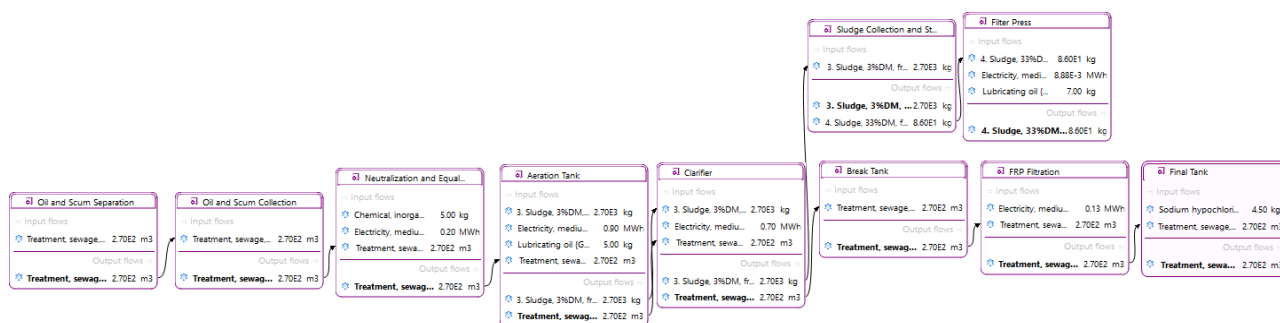
3.3 Penilaian Dampak Daur Hidup

Penilaian dampak meliputi berbagai proses terstruktur yang telah dilakukan pada tahapan sebelumnya. Tahapan ini fokus untuk menganalisis dampak yang ditimbulkan baik dari jenisnya maupun besarnya (Athirafitri et al., 2021). Pemilihan metode pada penilaian dampak dikembangkan untuk mengkorelasikan hasil inventarisasi data dengan dampak lingkungan yang relevan dengan objek penelitian. Kemudian seluruh dampak yang disebabkan baik dari sumber daya maupun emisi akan dikelompokkan pada kategori tertentu dan pembobotan yang sesuai dengan tingkat kontribusinya (Rosyid, 2022). Berdasarkan literatur yang dikaji penggunaan listrik diakui sebagai salah satu kontributor besar pada emisi gas rumah kaca yang menyebabkan terjadinya pemanasan global sehingga emisi ini menjadi fokus

utama pada analisis ini untuk mengetahui dampak lingkungan yang disebabkan oleh adanya penggunaan listrik pada kegiatan operasional IPAL.

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 1 Tahun 2021 potensi pemanasan global (*global warming potential*) merupakan salah satu kategori dampak lingkungan yang wajib dilakukan pengkajian. Untuk melakukan penilaian dampak maka perlu dilakukannya visualisasi sistem produk bagaimana proses tersebut saling terlibat.

Pada perangkat lunak OpenLCA visualisasi tersebut disebut “*Model Graph*”. Secara umum *model graph* terdiri atas node yang merepresentasikan proses (seperti bahan baku) atau aliran akhir (emisi ke lingkungan) dan Edge yang merepresentasikan aliran produk yang menghubungkan satu proses ke proses berikutnya menunjukkan bahwa *ouput* dari suatu proses menjadi *input* untuk proses lain. Tujuannya adalah untuk memastikan model LCA telah tersusun dengan benar.



Gambar 3. “*Model Graph*” Analisis LCA IPAL PT. X

(Sumber : OpenLCA, 2025)

Berdasarkan Gambar 3 setelah memastikan tahapan pada sistem produk benar kemudian data tersebut akan diolah menggunakan metode yang digunakan. Pada analisis ini menggunakan metode IMPACT 2002+. Adapun kategori dampak lingkungan yang muncul adalah *global warming*. Diketahui untuk pengolahan air limbah sebesar 1 m³/hari menimbulkan dampak *global warming* sebesar 9,726 kg CO₂eq dengan rincian sebagai berikut :

Pemanasan global merupakan suatu proses yang disebabkan karena adanya peningkatan gas rumah kaca. Termasuk meningkatnya konsentrasi karbondioksida (CO₂) (Kurniawan et al., 2024). Peristiwa ini dikarenakan adanya peningkatan suhu rata-rata di atmosfer, laut, dan daratan. Menurut (Tim Indonesia Asri, 2025) pembangkit listrik dapat menyumbang sekitar 25% pemanasan global. Apabila hal ini tidak dijadikan sebuah perhatian maka dapat berdampak buruk bagi ekosistem.

Tabel 4. Dampak *Global Warming*

Global Warming Potential Impact (kg CO ₂ eq)	
Proses	Nilai
<i>Equalization and Neutralization</i>	1,268
Bak Aerasi	5,723
<i>Clarifier</i>	2,320
Filtrasi	0,416
Jumlah	9,726

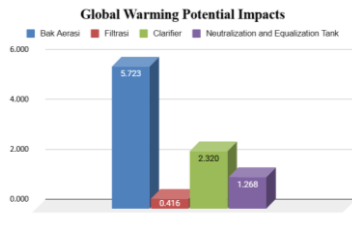
(Sumber : OpenLCA, 2025)

3.4 Interpretasi Data

Interpretasi data merupakan tahapan yang digunakan untuk mengidentifikasi, menguji, memeriksa, mengevaluasi, dan menarik kesimpulan dari hasil kategori dampak lingkungan yang telah diperoleh. Interpretasi dilakukan dengan cara mengaitkan dari dampak yang diperoleh dengan inventori yang telah dibuat apakah hal tersebut sesuai dengan tujuan dan ruang lingkup (Kautzar et al., 2015).

Setiap kategori dampak memiliki besaran yang berbeda sehingga memerlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui data yang sesuai dengan kondisi eksisting. Dari tahapan ini juga dimanfaatkan untuk mengetahui titik *hotspot* pada suatu rangkaian proses. Analisis *hotspot* digunakan untuk mengetahui dampak terbesar dari suatu rangkaian sistem berdasarkan tahapan - tahapan sebelumnya (Schomberg et al., 2022). Sesuai dengan tujuan kategori dampak yang akan dikaji

adalah potensi pemanasan global ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.



Gambar 4. Dampak GWP (Sumber : OpenLCA, 2025)

Dari grafik di atas kemudian dilakukan analisis *hotspot* yakni mengidentifikasi komponen dengan kontribusi dampak lingkungan yang paling signifikan dengan ambang batas minimal 10% dari total dampak yang dihasilkan. Adapun persentase pembobotan dari masing - masing proses yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan. Pada dampak *global warming* analisis *hotspot* ditunjukkan oleh Tabel 5

Tabel 5. Analisis *Hotspot*

Global Warming Potential	
Proses	Persentase (%)
Equalization and Neutralization Tank	13,04
Bak Aerasi	58,84
Clarifier	23,85
Filtrasi	4,28
Jumlah	100%

(Sumber : Pengolahan Data, 2025)

Pada dampak *Global Warming* penyebab terbesar berada pada unit aerasi (58,84%) faktor utama penyebab dampak tersebut adalah dari penggunaan listrik yang berasal dari pompa blower yakni sebanyak 2 buah unit yang bekerja selama 12 jam bergantian pada masing - masing unitnya. Kemudian pada unit *clarifier* (23,85%) disebabkan penggunaan pompa *sludge* secara kontinu sebanyak 2 buah yang bergantian selama 2 menit. Pada unit *equalization and neutralization* (13,04%) dikarenakan adanya penggunaan alat seperti *dosing pump*, *mixer* (pengaduk) yang digunakan untuk menghomogenkan beban pencemar, dan *feed pump*. Sedangkan pada unit filtrasi merupakan proses dengan kontributor dampak paling rendah (4,28%) hal ini disebabkan karena penggunaan pompa filter tidak terjadi secara kontinu.

3.5 Rekomendasi Program Perbaikan

Untuk menghadapi dampak lingkungan *global warming* terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dilakukan yaitu dengan pemanfaatan energi surya (PLTS). Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu bentuk pemanfaatan energi terbarukan yang memiliki potensi terbesar di Indonesia. Energi terbarukan merupakan upaya untuk mengatasi krisis energi (Firman et al., 2025). Keunggulan utama dari PLTS adalah lingkungannya yang bersih dan ramah lingkungan

karena selama operasionalnya tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca.

Meskipun panel surya masih bergantung terhadap beberapa hal umumnya umur solar sendiri bekisar diantara 20 - 25 tahun (Pijoh et al., 2024). Pemanfaatan PLTS juga memiliki manfaat ekonomi yang signifikan. Meskipun investasi awal untuk instalasi panel surya biasanya membutuhkan biaya yang cukup tinggi namun seiring berjalannya waktu biaya operasional dan pemeliharaannya juga jauh lebih rendah dibandingkan dengan sumber energi fosil dikarenakan sinar matahari merupakan salah satu sumber energi yang tidak terbatas dan tidak membutuhkan biaya. Menurut (Gautami et al., 2023) kementerian ESDM telah melakukan proyeksi terhadap target pemasangan PLTS yang akan dilakukan secara bertahap hingga tahun 2025 untuk menghasilkan daya sebesar 3,6 GW dimana hal ini ditujukan untuk mendukung pertumbuhan *green product* dan *green industry* serta berpotensi mengurangi emisi GRK mencapai 4,58 Juta ton CO₂eq.

4. SIMPULAN

Analisis ini menggunakan batasan atau ruang lingkup meliputi seluruh proses pengolahan air limbah industri farmasi milik PT. X. Fokus utama dalam analisis ini adalah mengidentifikasi dampak emisi gas rumah kaca dari penggunaan listrik pada kegiatan operasional IPAL dengan kapasitas 270 m³/hari. Diketahui dari analisis ini pada pengolahan 1 m³ air limbah dapat menghasilkan dampak sebesar 9,726 CO₂ eq. Adapun kontributor terbesar ke terkecil dari proses yang menghasilkan dampak ini adalah pada unit bak aerasi, *clarifier*, *equalization and neutralization tank*, dan filtrasi. Sebagai langkah mewujudkan lingkungan yang berkelanjutan rekomendasi program perbaikan untuk mengurangi dampak *global warming* adalah dengan pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

DAFTAR PUSTAKA

- Adiansyah, J. S. (2024). *Penilaian Daur Hidup (Life Cycle Assessment)*. Deepublish.
- Athirafitri, N., Indrasti, N. S., & Ismayana, A. (2021). ANALISIS DAMPAK PENGOLAHAN HASIL PERIKANAN MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) : STUDI LITERATUR. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*.
- Fikri, E. (2021). *Menilai Dampak Lingkungan dengan Analisis Daur Hidup (LCA)*. CV Pustaka Setia Bandung.
- Firman, B., Syafrudin, Sholeh, M., & Rahayu, S. S. (2025). Pemberdayaan Pembudidaya Ikan melalui Sosialisasi Teknologi Pompa Air Tenaga Surya di Wilayah Sumberadi, Sleman. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*.
- Gahlawat, I. N., & Lakra, P. (2020). Global Climate Change and Its Effects. *Integrated Journal of Social Science*.
- Gautami, S., Mubarak, & Siregar, Y. I. (2023). Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Upaya Pengurangan Emisi Di Wilayah Provinsi Riau. *ZONA : Jurnal Lingkungan*.
- Kautzar, G. Z., Sumantri, Y., & Yuniarti, R. (2015).

ANALISIS DAMPAK LINGKUNGAN PADA AKTIVITAS SUPPLY CHAIN PRODUK KULIT MENGGUNAKAN METODE LCA DAN ANP. *JURNAL REKAYASA DAN MANAJEMEN SISTEM INDUSTRI*.

KLHK. (2021). *Pedoman Penyusunan Laporan LCA*. Proper.

[https://proper.menlhk.go.id/propercms/uploads/magazine/docs/buku/magazinePedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup 2021.pdf](https://proper.menlhk.go.id/propercms/uploads/magazine/docs/buku/magazinePedoman_Penyusunan_Laporan_Penilaian_Daur_Hidup_2021.pdf)

Kurniawan, J., Razak, A., Syah, N., Diliarosta, S., & Azhar, A. (2024). Pemanasan Global: Faktor, Dampak, dan Upaya Penanggulangan.

Pijoh, F., K, B., & Purba, L. P. (2024). Pembangkit Listrik Tenaga Surya untuk Energi Ramah Lingkungan yang Berkelanjutan. *Industrial & System Engineering Journals*.

Rahmawati, A., & Robertus, M. H. (2023). PENGARUH KONSUMSI LISTRIK, PERTUMBUHAN EKONOMI, INDUSTRIALISASI, DAN KETERBUKAAN PERDAGANGAN TERHADAP EMISI CO₂ DI INDONESIA TAHUN 1983-2019. *DIPONEGORO JOURNAL OF ECONOMICS*.

Rosyid, A. (2022). Kajian Dampak Lingkungan dari Proses Produksi Pulp dengan Metode LCA : Evaluasi Program Perbaikan Eksisting. *Tesis Institus Teknologi Sepuluh Nopember*.

Sasongko, N. A., Febijanto, I., Santoso, A. D., Setiawan, A. A. R., & Wahyono, Y. (2025). *Penilaian Daur Hidup: Konsep, Metode, dan Studi Kasus Energi Terbarukan*. Deepublish.

Schomberg, A. C., Bringezu, S., Flörke, M., & Biederbick, H. (2022). Spatially explicit life cycle assessments reveal hotspots of environmental impacts from renewable electricity generation.

Communications Earth and Environment.

Sidqi, F., Sutikno, F. R., & Sari, K. E. (2024). PEMODELAN DISPERSI EMISI CO₂ DARI KEGIATAN TRANSPORTASI DI KAWASAN SIER SURABAYA. *Planning for Urban Region and Environment*.

Subaidah, W. A., Hajrin, W., & Juliantoni, Y. (2023). Peran farmasi di industri obat di Indonesia sebagai gambaran lapangan kerja alumni farmasi Universitas Mataram. *INDRA: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*.

Tim Indonesia Asri. (2025, February 7). *Apa Akibat Jika Kita Menggunakan Listrik Secara Berlebihan?* Indonesia Asri. Retrieved December 17, 2025, from <https://indonesiaasri.com/edukasi/apa-akibat-jika-kita-menggunakan-listrik-secara-berlebihan/>

Wahyudi, H. (2024). Efektivitas Pengawasan Limbah Perusahaan pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Prabumulih. *Konstitusi: Jurnal Hukum, Administrasi Publik, dan Ilmu Komunikasi*.

Wahyudi, J. (2017). Penerapan Life Cycle Assessment untuk Menakar Emisi Gas Rumah Kaca yang Dihasilkan dari Aktivitas Produksi Tahu. *University Research Colloquium*.

Wahyudi, J. (2019). EMISI GAS RUMAH KACA (GRK) DARI PEMBAKARAN TERBUKA SAMPAH RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN MODEL IPCC. *Jurnal Litbang*.

Widyasari, I. A. P. G., Wisnu, T. G. B., & Somayani, P. L. P. (2023). Kegiatan Pembuatan Eco Enzyme untuk Pengelolaan dan Pengolahan Limbah Cair-A pada Instalasi Pengolahan Air Limbah di RSUD Tabanan. *Dharma Sevanam: Jurnal Pengabdian Masyarakat*.