



## Penilaian Daur Hidup Pengolahan Air Bersih: Studi Kasus Industri CPO PT X

### Life Cycle Assessment of Water Treatment Plan: Case Study of PT X CPO Industry

Reko Rinaldo <sup>\*1</sup>, Megawati Bohari <sup>2</sup>, Griselda Happy Ramadhani <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknologi Pangan, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Lima Puluh Kota, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Tata Air Pertanian, Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh, Lima Puluh Kota, Indonesia

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Industri, Universitas Indraprasta PGRI, Tanjung Barat, Indonesia

\*Penulis Korespondensi

Email: [rekor.ronaldo@gmail.com](mailto:rekor.ronaldo@gmail.com)



**Abstrak.** Unit proses pengolahan air bersih merupakan proses yang penting di industri kelapa sawit untuk kelangsungan kegiatan operasionalnya. Penggunaan air bersih dalam industri kelapa sawit ini relatif besar dan meningkat seiring pertambahan jumlah kebutuhannya. Proses pengolahan air bersih dimulai pengambilan air dari sungai, pengolahan air, sampai menjadi air yang siap digunakan berpotensi menimbulkan adanya emisi yang memberikan dampak ekologis. Penelitian ini bertujuan untuk mengkuantifikasi besaran emisi dampak lingkungan yang dihasilkan serta merumuskan alternatif perbaikan proses sebagai upaya terhadap pengurangan emisi tersebut. Metode yang diterapkan dalam analisis dampak lingkungan adalah Life Cycle Assessment (LCA) dengan batasan ruang lingkup gate-to-gate, hanya mencakup proses pengolahan air bersih. Kategori dampak emisi yang dianalisis dalam penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SimaPro dengan metode CML-IA baseline, mencakup kategori Global Warming Potential (GWP), asidifikasi, dan eutrofikasi. Studi kasus dilakukan di industri kelapa sawit PT X Bengkulu, industri ini berkapasitas olah 30 ton per jam. Berdasarkan hasil penelitian, setiap produksi 1 Ton crude palm oil (CPO) menghasilkan dampak terhadap lingkungan berupa emisi global warming potential (GWP) sebesar 46,8 kgCO<sub>2</sub>eq, potensi asidifikasi sebesar 0,331 kgSO<sub>2</sub>eq, dan eutrofikasi sebesar 0,042 kgPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq. Pemakaian listrik dan aluminium sulfat merupakan kontributor (hotspot) tertinggi terhadap emisi yang dihasilkan. Upaya pengurangan dampak lingkungan yang dapat diterapkan adalah melalui substitusi pemakaian bahan kimia aluminium sulfat dengan PAC untuk proses penjernihan air.

**Kata kunci:** asidifikasi, eutrofikasi, global warming, LCA, pengolahan air bersih.

**Abstract.** Water treatment plan unit is a crucial process in the palm oil industry, supporting the continuity of its operational activities. The use of clean water in the palm oil industry is relatively high and continues to increase in line with growing demand. Water treatment plan process begins with water intake from the river, followed by treatment, until the water is ready for use. This entire process has the potential to generate emissions that contribute to ecological impacts. This study aims to quantify the magnitude of environmental impact emissions generated and to formulate alternative process improvements as an effort to reduce these emissions. The method applied for environmental impact analysis is Life Cycle Assessment (LCA) with a gate-to-gate system boundary, covering only the water treatment plan process. The emission impact categories

*analyzed in this study were assessed using SimaPro with the CML-IA baseline method, including Global Warming Potential (GWP), acidification, and eutrophication categories. The case study was conducted at PT X Bengkulu, a palm oil industry with a processing capacity of 30 tons. Based on the research results, the production of 1 ton of crude palm oil (CPO) generates ecological impacts in the form of Global Warming Potential (GWP) emissions of 46.8 kg CO<sub>2</sub>-eq, acidification potential of 0.331 kg SO<sub>2</sub>-eq, and eutrophication potential of 0.042 kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq. Electricity consumption and aluminum sulfate were identified as the highest contributors (hotspots) to the generated emissions. A suitable strategy to mitigate environmental impacts is the substitution of aluminum sulfate with polyaluminum chloride (PAC) in the water clarification process.*

**Keywords:** *global warming, acidification, eutrophication, LCA, clean water treatment.*

## 1. Pendahuluan

Sektor kelapa sawit Indonesia menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, ditandai dengan perluasan areal perkebunan sekaligus peningkatan jumlah fasilitas pengolahan. Secara khusus Provinsi Bengkulu selama tahun 2024 memiliki luas areal perkebunan kelapa sawit sebesar 328.250 ha dan produksi kelapa sawit sebanyak 1.000.961 Ton tandan buah segar (TBS) (DITJENBUN, 2024). Peningkatan produksi CPO disebabkan tingginya permintaan minyak nabati secara global, baik untuk konsumsi pangan maupun industri seperti deterjen dan kosmetik, disebabkan oleh laju pertumbuhan populasi manusia yang terus meningkat (Paminto *et al.*, 2022). Industri kelapa sawit memerlukan air bersih untuk kelangsungan kegiatan operasionalnya. Penggunaan air bersih pada industri kelapa sawit relatif tinggi dan terus meningkat seiring bertambahnya kebutuhan operasional (Singh *et al.*, 2018). Pengolahan tandan buah segar (TBS) industri kelapa sawit membutuhkan air dengan proporsi yang setara dengan TBS yang diproses, namun penggunaannya dibagi menjadi beberapa kebutuhan operasional. Sekitar 60-65% dari total air digunakan untuk boiler, dan 20-24% digunakan untuk proses pengenceran, sebanyak 5 – 10% air dimanfaatkan untuk proses regenerasi *unit softener/demin plant*, sedangkan sisanya digunakan untuk kebutuhan domestik (Rahardja, 2019). Industri yang memanfaatkan air sungai perlu ditangani sebelum digunakan sehingga menuntut industri untuk mempunyai pengolahan air bersih untuk keperluan domestiknya. Pengolahan air bersih merupakan suatu bangunan atau sistem yang dirancang untuk mengurangi kandungan polutan dalam air baku, sehingga kualitas air meningkat dan memenuhi standar baku mutu air bersih sesuai dengan peraturan yang berlaku (Nurbaiti *et al.*, 2022). PT X adalah perusahaan industri kelapa sawit yang memproduksi *crude palm oil* (CPO) dengan kapasitas pengolahan mencapai 30 Ton tandan buah segar (TBS) per jam, serta berlokasi di wilayah Provinsi Bengkulu.

Pengolahan air bersih industri CPO menghasilkan emisi yang dampaknya tidak langsung, tetapi memberikan pengaruh yang sistemik terhadap lingkungan. Sebagian besar energi yang digunakan untuk memompa dan mengolah air berasal dari pembakaran bahan bakar deisel, baik

dari grid listrik nasional maupun generator diesel on-site. Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan nitro oksida (N<sub>2</sub>O) merupakan emisi yang dilepaskan dalam proses pembakaran ini (Zuhria & Azmi, 2023). Bahan polimer, koagulan, alum (tawas), dan gas klorin merupakan zat kimia yang digunakan pada proses pengolahan air bersih dan juga memberikan dampak emisi terhadap lingkungan (Friedrich *et al.*, 2009). Sistem penyediaan air bersih adalah infrastruktur vital yang mendukung proses produksi industri, namun memerlukan konsumsi energi yang tinggi (Li *et al.*, 2024). Semakin banyak jumlah air yang diolah mengakibatkan konsumsi energi listrik dan bahan kimia yang lebih tinggi, sehingga potensi dampak yang ditimbulkan juga akan semakin meningkat. Sebaiknya penting untuk dilakukan kajian ilmiah mengenai strategi pengendalian dalam rangka mengurangi dampak lingkungan dari proses pengolahan air bersih industri CPO yang minim pengelolaan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk menghitung dan mengevaluasi jumlah emisi yang dihasilkan dari suatu proses pengolahan dan produksi adalah metode *Life Cycle Assessment (LCA)*.

Hasil kajian LCA pengolahan air bersih telah dilakukan oleh Nurbaiti *et al.* (2022) Terdapat tiga kategori dampak utama yang diidentifikasi melalui analisis LCA menggunakan perspektif metode Impact 2002+, yaitu *Respiratory inorganics*, *Global warming*, dan *Non-Renewable Energy*. Munculnya dampak-dampak tersebut dipengaruhi oleh penggunaan energi listrik serta pemakaian bahan kimia dalam proses, khususnya koagulan dan disinfektan. Berdasarkan hasil penelitian Zexing *et al.* (2025) perhitungan emisi pengolahan air minum di China selatan melalui metode IPCC diperoleh rata-rata emisi sebesar 5.263,29 ton CO<sub>2</sub>-eq, dengan listrik (78,65%, terutama dari stasiun pompa) dan bahan kimia (21,05%) sebagai kontributor utama. Annisaa *et al.* (2022) menyebutkan tiga dampak lingkungan utama pengolahan air bersih di IPA Gedek berturut-turut adalah *global warming potential* ( $9,17 \times 10^6$  kg 1,4-DBeq), diikuti oleh *freshwater aquatic ecotoxicity* ( $6,6 \times 10^6$  kg 1,4-DBeq), dan *human toxicity* ( $4,56 \times 10^6$  kg 1,4-DBeq). Penggunaan bahan kimia, bahan baku, dan energi listrik pada pengolahan air bersih menjadi penyebab utama dampak lingkungan yang dihasilkan. LCA adalah metode komprehensif untuk mengevaluasi dampak lingkungan suatu produk, proses, atau aktivitas dari hulu ke hilir. Teknik ini mengukur input (energi, bahan baku, air) dan output (emisi ke udara, air, tanah) selama seluruh siklus hidupnya (Pourahmadiyan *et al.*, 2021). LCA adalah metode instrumen lingkungan yang penting untuk dilakukan dalam rangka mencapai industri hijau atau ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan menganalisis masukan (*input*) dan keluaran (*output*) proses pengolahan air bersih PT X, menghitung besaran dampak lingkungan, serta menyusun skenario perbaikan guna menekan dampak lingkungan yang ditimbulkan sebagai upaya menjaga kelestarian lingkungan melalui penerapan perbaikan secara berkelanjutan.

## 2. Bahan dan Metode

Penelitian LCA pengolahan air bersih industri CPO dilakukan di PT X, Provinsi Bengkulu, selama periode Januari hingga April 2022. Sumber data penelitian terdiri dari data primer, yang diperoleh dari wawancara langsung dengan pekerja, asisten manajer, dan manajer PT X, serta data sekunder yang berasal dari dokumen internal perusahaan seperti data pemakaian air, pemakaian zat kimia, energi (pemakaian listrik dan bahan bakar diesel), mesin dan peralatan di seluruh tahapan proses, serta referensi yang diperoleh dari studi sebelumnya. Metode LCA dalam penelitian ini menggunakan acuan berdasarkan [SNI ISO 14040:2016](#) dan [KLHK \(2021\)](#). Tahapan utama penelitian LCA meliputi penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope*), analisis inventori (*Life Cycle Inventory*), penilaian dampak (*Life Cycle Impact Assessment*), serta interpretasi hasil.

### 2.1. Goal and Scope

Merupakan tahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian LCA yang bertujuan untuk penelitian LCA yang lebih terstruktur dengan berpedoman pada batasan dan ruang lingkup yang ditetapkan. *Goal and scope* juga menetapkan satuan unit fungsi yang akan digunakan pada penelitian LCA. Ruang lingkup penelitian LCA meliputi unit proses pengolahan air bersih PT X.

Tujuan penelitian LCA untuk menganalisis dampak lingkungan yang ditimbulkan pada proses pengolahan air bersih industri CPO menggunakan metode LCA. Selain menetapkan tujuan, tahap ini juga menetapkan batasan supaya analisis tetap berada dalam ruang lingkup yang telah ditentukan. Penelitian ini menerapkan ruang lingkup *gate-to-gate*, yang berarti analisis difokuskan pada tahapan pengolahan air bersih. Tahapan *goal and scope*, ditentukan unit fungsional yang digunakan dalam penelitian, adalah 1 ton produksi CPO yang digunakan sebagai dasar dalam proses normalisasi terhadap parameter *input* dan *output*.

### 2.2. Life Cycle Inventory (LCI)

*Life cycle inventory* (LCI) merupakan tahapan mengkuantifikasi *input* (material dan energi) dan *output* (emisi, produk, dan produk samping) yang disesuaikan dengan *goal and scope* tahap sebelumnya. LCI juga menggambarkan diagram alir proses dan melakukan perhitungan dan olah data. Penelitian LCA ini menggunakan data *input-output* dari arsip PT X selama tahun 2022, didukung oleh data primer (uji laboratorium dan perhitungan emisi) serta data sekunder berbasis literatur.

### 2.3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahap LCIA merupakan tahap evaluasi besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari perhitungan data tahap analisis *inventori*. Data hasil *life cycle inventory* (LCI) diubah menjadi kategori indikator dampak lingkungan. Klasifikasi dampak lingkungan yang dihasilkan dari

aktivitas pengolahan air bersih berdasarkan pada dampak terhadap *global warming potential* (GWP), eutrofikasi, dan asidifikasi. SimaPro versi 9.3.0.3 *Faculty* dengan metode perhitungan CML-IA *baseline V3.06 database Ecoinvent* digunakan untuk analisis dampak lingkungan.

#### 2.4. Interpretation

Interpretasi merupakan tahapan terakhir penelitian LCA yang dilakukan untuk mengevaluasi, melakukan analisis kontribusi emisi, serta analisis untuk mengkaji berbagai upaya yang dapat diterapkan dalam rangka meminimalkan dampak lingkungan. Alternatif perbaikan dirumuskan melalui perbandingan hasil analisis dampak lingkungan sebelum dan setelah penerapan penelitian *Life Cycle Assessment* (LCA). Selanjutnya, hasil interpretasi digunakan sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi skenario perbaikan guna menurunkan dampak lingkungan yang dihasilkan. Tahap interpretasi dijelaskan melalui analisis deskriptif terhadap hasil penilaian dampak untuk memudahkan pemahaman data serta memperjelas perbandingan antara hasil evaluasi dampak serta manfaat yang didapatkan. Penyajian data pada tahap ini ditampilkan melalui format Tabel serta grafik.

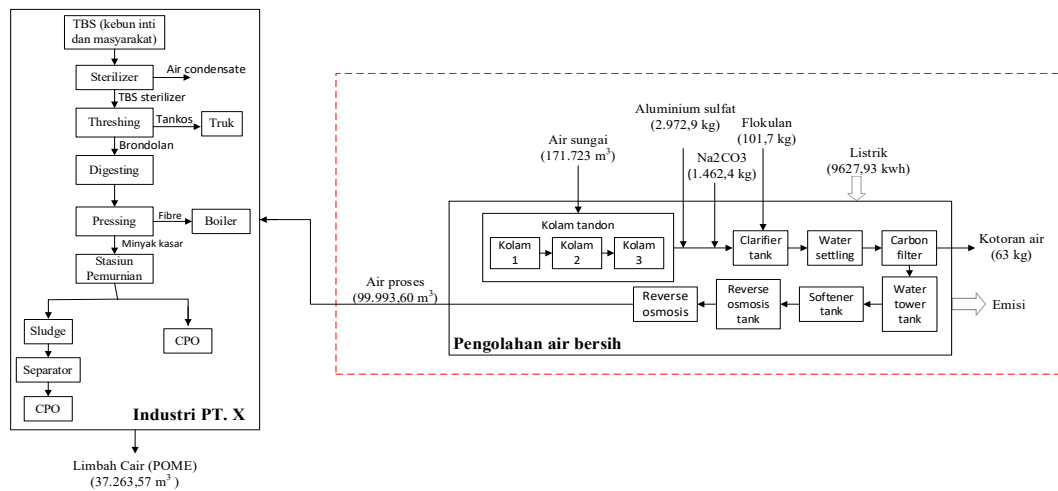
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Proses Pengolahan Air Bersih

Industri produksi CPO membutuhkan air bersih untuk proses pengolahan, sebagai air umpan boiler dan proses lainnya yang ada di dalam industri. Proses pengolahan air di setiap industri berbeda karena dipengaruhi oleh kesesuaian kualitas air yang digunakan. Sumber air yang digunakan oleh PT X diperoleh dari Sungai yang berada di dekat industri pengolahan, air sungai diambil dengan menggunakan bantuan pompa air (*water pump*). PT X membagi kebutuhan air bersihnya menjadi dua kategori, domestik dan non-domestik. Kebutuhan non-domestik mencakup keperluan kantin, kamar mandi, dan kebersihan industri, sementara kebutuhan domestik digunakan untuk mendukung proses produksi CPO dan umpan air boiler. Pengolahan air bersih PT X terdiri dari beberapa proses; kolam tandon (kolam 1), tangki penjernihan (clarifier tank), *water settling*, *carbon filter*, *water tower tank*, *softener tank*, dan tangki reverse osmosis (RO tank). Bangunan pengolahan air bersih PT X memiliki ruang dosis yang dilengkapi mesin pencampur (*mixer*) dan injektor untuk mengombinasikan bahan kimia dengan air dan memompa bahan kimia tersebut ke kolam proses pengolahan air bersih. Pengolahan air bersih PT X dapat dilihat pada [Gambar 1](#).

Kebutuhan energi listrik di setiap unit bervariasi, bergantung pada jenis peralatan seperti pompa, mixer, blower, kompresor, dan injektor yang dioperasikan. Bahan kimia yang dipakai adalah  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (aluminium sulfat),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  (soda abu) dan *poly aluminium chloride* (PAC). PAC digunakan sebagai bahan koagulan dan aluminium sulfat sebagai bahan penjernih air. Sementara soda abu digunakan untuk air terutama sebagai pengatur pH untuk menetralkan air asam dan

mencegah korosi pipa, serta untuk melunakkan air dengan menghilangkan kesadahan air. pH ideal pengolahan air bersih PT X (antara 7,2–7,6).



Gambar 1. Batasan dan ruang lingkup penelitian LCA.

### 3.2 Life Cycle Inventory (LCI)

Tahap LCI merupakan tahapan mengidentifikasi bahan baku, tambahan, dan energi sebagai komponen input, sedangkan produk, produk samping, limbah, dan emisi sebagai komponen output ruang lingkup penelitian LCA yang sudah ditentukan. *Input* pada pengolahan air bersih PT X yaitu bahan baku air yang berasal dari sungai, kemudian *input* bahan pendukung yang wajib digunakan adalah bahan kimia. Bahan kimia yang ditambahkan adalah aluminium sulfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ),  $Na_2CO_3$  (soda abu) dan *poly aluminium chloride* (PAC). Proses pengolahan air bersih PT X juga memerlukan *input* energi listrik untuk menghidupkan pompa air dan mensirkulasikan air ke tangki penampungan lainnya. Data inventori proses pengolahan air bersih PT X selama 12 bulan disajikan pada Tabel 1.

Kebutuhan air PT X selama 12 bulan sebanyak 99.993,60 m<sup>3</sup> dari total air yang diambil sebanyak 171.723 m<sup>3</sup> yang air bakunya berasal dari sungai, penggunaan air proses untuk pengolahan 1 ton TBS memerlukan air sebanyak 1,6 m<sup>3</sup>. Kebutuhan bahan kimia berupa  $Al_2(SO_4)_3$  sebanyak 2.972,9 kg/tahun, sementara untuk pengolahan 1 Ton CPO dosis yang dipakai sebanyak 80 gram  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Na_2CO_3$  sebanyak 1.462,4 kg/tahun, untuk pengolahan 1 Ton CPO dosis  $Na_2CO_3$  yang dipakai sebanyak 45 gram dan PAC sebanyak 101,7 kg/tahun, untuk pengolahan 1 ton CPO, PAC yang digunakan sebanyak 22 gram. Selama pengoperasiannya kebutuhan listrik unit proses pengolahan air bersih sebesar 627,93 kWh. Output dari proses pengolahan air bersih yaitu air bersih yang siap digunakan untuk kebutuhan air domestik dan non domestik dan limbah lumpur dari proses pengolahan. Limbah lumpur yang dihasilkan, biasanya limbah tersebut dibuang secara langsung ke lahan perkebunan sekitar tanpa pengolahan.

Tabel 1. Data inventori pengolahan air bersih.

Data	Satuan	Jumlah/Tahun
<b>Input</b>		
Pemakaian air sungai	m <sup>3</sup>	171.723
AL <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	kg	2.972,9
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	kg	1.462,4
PAC	kg	101,7
Listrik	kWh	9.627,93
<b>Output</b>		
Pemakaian air proses	m <sup>3</sup>	99.993,60
Limbah pengolahan (pasir, lumpur)	kg	63

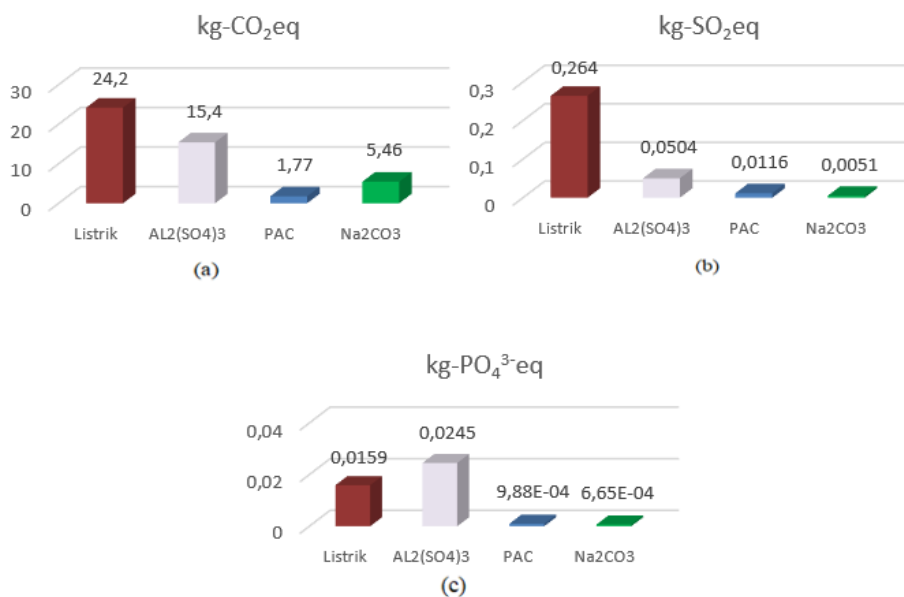
Sumber data: PT X Provinsi Bengkulu.

### 3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahap selanjutnya yaitu LCIA, tahapan ini dilakukan untuk mengkuantifikasi besaran dampak nilai emisi yang dihasilkan dari data analisis inventori *input* dan *output* pada Tabel 1. Perhitungan evaluasi dampak sesuai dengan batasan penelitian, dengan menggunakan *software* SimaPro unit fungsional 1 Ton produksi CPO. Evaluasi dampak lingkungan difokuskan pada emisi GWP, asidifikasi, dan eutrofikasi, yang dipilih berdasarkan hasil signifikan dari perhitungan *software* SimaPro. Besaran nilai dampak GWP, asidifikasi dan eutrofikasi subsistem pengolahan air bersih PT X dapat dilihat pada Tabel 2. Besaran nilai dampak dari *input* bahan pengolahan air bersih PT X dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Besaran nilai dampak unit proses pengolahan air bersih 1 Ton CPO.

Kategori dampak	Satuan	Nilai dampak
GWP	kg-CO <sub>2</sub> eq/ton-CPO	46,8
Asidifikasi	kg-SO <sub>2</sub> eq/ton-CPO	0,331
Eutrofikasi	kg-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/ton-CPO	0,042



Gambar 2. Nilai emisi dampak: (a) GWP, (b) Asidifikasi, (c) Eutrofikasi.

Tahapan LCIA, nilai kategori dampak tertinggi yaitu GWP dengan nilai total 46,8 kg-CO<sub>2</sub>eq/ton-CPO, dampak tertinggi kedua yaitu asidifikasi dengan nilai dampak 0,331 kg-SO<sub>2</sub>eq/ton-CPO, dan dampak tertinggi ketiga yaitu eutrofikasi dengan nilai 0,042 kg-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq/ton-CPO. Berdasarkan [Gambar 2](#) emisi GWP yang dihasilkan oleh proses pengolahan air bersih PT X bersumber dari faktor penyebab langsung maupun tidak langsung. Kontribusi emisi GWP berasal dari penggunaan energi listrik pada mesin-mesin pengolahan air bersih yang berbahan bakar diesel, yang menghasilkan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai salah satu polutannya. Emisi CO<sub>2</sub> dari pembakaran bahan bakar fosil diesel merupakan penyumbang utama potensi pemanasan global ([Pratama & Parinduri, 2019](#)). Penurunan kinerja mesin serta pompa sering disebabkan oleh faktor usia, karena unit yang lama memerlukan konsumsi energi lebih tinggi dibandingkan unit baru, peningkatan konsumsi energi listrik berkontribusi langsung pada peningkatan emisi gas rumah kaca ([Klopffer & Grahl, 2014](#)). Urutan dampak lingkungan tertinggi berikutnya, yaitu yang kedua dan ketiga, mencakup emisi asidifikasi dan emisi eutrofikasi. Emisi asidifikasi yang dihasilkan oleh proses pengolahan air bersih PT X adalah sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dan amonia (NH<sub>3</sub>). Emisi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) berasal dari pemakaian diesel pada mesin yang dioperasikan dalam proses pengolahan air bersih dan energi listrik berbahan bakar diesel. Emisi NH<sub>3</sub> dihasilkan oleh penggunaan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Aluminium sulfat (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) adalah agen koagulasi yang umum digunakan dalam pengolahan air untuk memisahkan kontaminan, kekeruhan, dan warna secara efektif. Bahan kimia ini berpotensi menimbulkan dampak karena dapat meningkatkan kandungan asam dari air ([Adeniran & Dunmoye, 2017](#)). Emisi eutrofikasi yang dihasilkan oleh proses pengolahan air bersih adalah Nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) dan Ion fosfat (PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>). Emisi polutan NO<sub>x</sub> berasal dari penggunaan energi listrik berbahan bakar solar. Penelitian terdahulu yang dilakukan [Adji and Ali, \(2024\)](#) menyebutkan dampak GWP dari pengolahan air bersih sebesar 134,71 kg-CO<sub>2</sub>eq. Hasil tersebut lebih besar dari penelitian ini, Hal ini berbeda karena adanya nilai inventarisasi dan jumlah pemakaian yang berbeda di setiap unit proses pengolahan air bersih.

### 3.4 Interpretation

Interpretasi hasil dilakukan untuk melihat sumber utama emisi (*hotspot*) sebagai dasar untuk menganalisis upaya perbaikan yang dapat dilakukan. Kontribusi dampak [Gambar 2](#) emisi terbesar GWP, asidifikasi, dan eutrofikasi dari proses pengolahan air bersih dihasilkan dari pemakaian listrik dengan kontribusi sebesar 51,6 % dan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> sebesar 32,9 %. Berdasarkan interpretasi hasil penelitian LCA, dampak lingkungan dari proses pengolahan air dapat ditekan melalui penerapan Langkah-langkah perbaikan yang tepat. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dirumuskan rekomendasi tindak lanjut sebagai dasar dalam implementasi strategi perbaikan yang

berorientasi pada pengurangan dampak lingkungan. Upaya perbaikan yang dapat diimplementasikan pada proses pengolahan air bersih ditampilkan pada [Tabel 3](#). Proses penjernihan air dapat dilakukan dengan menggunakan bahan tertentu yang dapat disebut sebagai flokulan. PT X menggunakan  $Al_2(SO_4)_3$  sebagai koagulan untuk proses penjernihan air. Penggunaan  $Al_2(SO_4)_3$  menjadi sumber penghasil emisi terbesar ke dua pada proses pengolahan air bersih PT X, maka dari itu perlu mengganti bahan material lain yang dapat digunakan untuk proses penjernihan pengolahan air bersih. Alternatif pengolahan lain adalah dengan menggunakan *poly aluminium chloride* (PAC). PAC merupakan salah satu jenis koagulan berbasis polimer aluminium yang memiliki kandungan ion klorida. Senyawa ini dapat diaplikasikan dalam proses pengolahan air karena memiliki kemampuan yang efektif dalam membantu proses koagulasi dan pembentukan flok air yang keruh. [Rosariawari and Mirwan \(2013\)](#) menyatakan persentase penyisihan kekeruhan air dengan koagulan PAC yaitu sebesar 58,52%, data tersebut dihasilkan pada kondisi waktu tinggal 120 menit, sementara penelitian [Prianti et al. \(2022\)](#) menyatakan penambahan jumlah zat PAC yang semakin banyak dapat mengakibatkan tingkat kekeruhan air semakin berkurang. Penelitian [Kartikasari and Santoso \(2023\)](#) menyatakan mengurangi dampak lingkungan di DWTP dengan mengoptimalkan bahan kimia sebagai prioritas utama, kemudian melakukan penghematan serta alternatif energi sebagai prioritas terakhir dapat menurunkan emisi sebesar 22%. Berdasarkan perhitungan SimaPro pemilihan bahan PAC juga menghasilkan emisi yang rendah dibandingkan dengan bahan kimia lainnya. Rekomendasi substitusi penggunaan  $Al_2(SO_4)_3$  dengan PAC merupakan alternatif rekomendasi yang dapat diterapkan PT X untuk mengurangi dampak lingkungan pada Subsistem pengolahan air bersih. Pemakaian PAC untuk pengolahan 1 ton

Tabel 3. Persentase emisi dari substitusi  $Al_2(SO_4)_3$  dengan PAC.

Skenario perbaikan mengganti $Al_2(SO_4)_3$ dengan PAC	GWP (kg-CO <sub>2</sub> eq/ton-CPO)	Asidifikasi (kg-SO <sub>2</sub> eq/ton-CPO)	Eutrofikasi (kg-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/ton-CPO)
Sebelum perbaikan	46,8	0,331	0,042
Setelah perbaikan	40,2	0,205	0,031
Perubahan dampak	6,6	0,126	0,011
Persentase %	14,12	38,24	26,19

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian LCA pengolahan air bersih dengan ruang lingkup *gate-to-gate*, proses pengolahan air bersih menggunakan input berupa air sungai, energi listrik, serta bahan kimia  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Na_2CO_3$ , dan PAC. *Output* yang dihasilkan meliputi air bersih yang dimanfaatkan untuk proses industri dan kebutuhan masyarakat sekitar, limbah berupa pasir dan lumpur, serta emisi dari setiap tahapan proses. Hasil analisis menunjukkan bahwa proses

pengolahan air bersih menghasilkan dampak lingkungan per 1 ton CPO sebesar 46,8 kgCO<sub>2</sub>eq untuk Global Warming Potential (GWP), 0,331 kgSO<sub>2</sub>eq untuk Asidifikasi, dan 0,042 kgPO<sub>4</sub><sup>3-</sup>eq untuk Eutrofikasi. Kontributor utama (*hotspot*) terhadap dampak GWP dan asidifikasi berasal dari penggunaan listrik berbahan bakar diesel, sedangkan dampak eutrofikasi terutama dipengaruhi oleh penggunaan bahan kimia Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Alternatif perbaikan yang dapat diterapkan untuk menurunkan dampak lingkungan adalah substitusi Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> dengan PAC, karena PAC mampu menurunkan kekeruhan air secara lebih efektif dan berdasarkan hasil perhitungan SimaPro menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas batasan sistem LCA menjadi *cradle-to-grave*, sehingga seluruh tahapan mulai dari produksi CPO hingga pengolahan akhir air limbah dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Selain itu, penerapan sistem pengolahan air bersih terintegrasi, terutama melalui pemanfaatan kembali limbah lumpur, perlu dikaji kembali menggunakan pendekatan LCA untuk mengevaluasi potensi efisiensi proses dan pengurangan dampak lingkungan secara menyeluruh.

### Singkatan yang Digunakan

Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	aluminium sulfat
CML-IA	<i>center for environmental science-impact assessment</i>
DWTP	<i>drinking water treatment plant</i>
GWP	<i>global warming potential</i>
kg CO <sub>2</sub> eq	kilogram karbon dioksida ekuivalen
kg SO <sub>2</sub> eq	kilogram sulfur dioksida ekuivalen
kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq	kilogram ion fosfat ekuivalen
LCA	<i>life cycle assessment</i>
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	soda abu
PAC	<i>poly aluminium chloride</i>

### Pernyataan Ketersediaan Data

Data akan tersedia berdasarkan permintaan.

### Kontribusi Para Penulis

**Reko Rinaldo:** konseptualisasi, investigasi (pengambilan data), kurasi data, analisis data, dan penulisan draft naskah. **Megawati Bohari:** persiapan, kurasi data, analisis data, validasi data, dan penyuntingan. **Griselda Happy Ramadhani:** persiapan, kurasi data, analisis data, validasi data, dan penyuntingan.

### Pernyataan Konflik Kepentingan

Para penulis naskah ini menyatakan tidak ada konflik kepentingan atau kepentingan yang bersaing.

### Ucapan Terima Kasih

Para penulis menyampaikan terima kasih kepada Pimpinan PT X karena telah mengizinkan kami untuk melakukan penelitian, dan penulis juga mengucapkan terimakasih kepada ketua

divisi pengolahan air bersih serta staf pegawai PT X atas dukungan serta arahan yang telah diberikan selama kami melakukan penelitian di PT X.

### Daftar Pustaka

- Adeniran, K. A., & Dunmoye, I. D. (2017). Relative Coagulation Potentials of Aluminum Sulphate and Mangifera indica Seeds in Purifying Domestic Waste Water. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, 13(2), 26-38. <https://doi.org/10.3126/kuset.v13i2.21281>
- Adji, M. P., & Ali, M. (2024). Metode Life Cycle Assessment untuk Kajian Dampak Lingkungan pada Instalasi Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9696–9706. <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/304>
- Annisaa, N. K., Yusrianti., & Nengse, S. (2022). Perkiraan Potensi Dampak Lingkungan Menggunakan Life Cycle Assessment (LCA) pada Pengolahan Air Bersih di IPA Gedek PT. Air Bersih Jatim. *Jurnal Environtek*, 14(2), 132–137. <https://doi.org/10.33005/envirotek.v14i2.32>
- DITJENBUN. (2024). *Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2021-2023*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pertanian. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/?publikasi=buku-statistik-perkebunan-2021-2023>
- Friedrich, E., Pillay, S., & Buckley, C. A. (2009). Carbon Footprint Analysis for Increasing Water Supply and Sanitation in South Africa : A Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 17(1), 1–12. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:153448829>
- Kartikasari, I. B., & Santoso, I. B. (2023). Impact Of Drinking Water Treatment Process Using Life Cycle Assessment (Lca) To Minimize Environmental Impact Risk. *Journal of Social Research*, 2(9), 3218-3230. <https://doi.org/10.55324/josr.v2i9.1294>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). (2021). *Pedoman Penyusunan Laporan Penilaian Daur Hidup (LCA)*. Edisi Pertama. Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI. [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)
- Klopffer, W., & Grahl, B. (2014). *Life Cycle Assesment: A Guide to Best Practice*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag&Co. [https://doi.org/10.1002/9783527655625?urlappend=%3Futm\\_source%3Dresearchgate.net%26utm\\_medium%3Darticle](https://doi.org/10.1002/9783527655625?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle)
- Li, F., Zhang, X., Huang, J., Liu, B., Gao, X., Shi, Y., & Li, K. (2024). Greenhouse Gas Emissions Inventory of Drinking Water Treatment Plants and Case Studies in China. *Science of the Total Environment*, 912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169090>
- Nurbaiti, G. A., Rachmanto, T. A., & Farahdiba, A. U. (2022). Life Cycle Assessment (LCA) sebagai Metode Kajian Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Bersih di Instalasi Pengolahan Air (IPA) Siwalanpanji. *Enviroous*, 2(2), 21–27. <https://doi.org/10.33005/enviroous.v2i2.102>
- Paminto, A., Karuniasa, M., & Frimawaty, E. (2022). Potential Environmental Impact of Biodiesel Production from Palm Oil using LCA (Life Cycle Assessment) in Indonesia. *J Nat Resour Environ Manag*, 12(1), 64–71. <https://doi.org/10.29244/jpsl.12.1.64-71>
- Pourahmadiyan, A., Ahmadi, P., & Kjeang, E. (2021). Dynamic Simulation and Life Cycle Greenhouse Gas Impact Assessment of CNG, LNG, and Diesel-Powered Transit Buses in British Columbia, Canada. *Transp Res Part D Transp Environ*, 92. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102724>
- Pratama, R., & Parinduri L. (2019). Penanggulangan Pemanasan Global. *Buletin Utama Teknik*, 15(1), 91–95. <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/but/article/view/1879>
- Prianti, C. D., Hadianoro, S., & Prastijono. (2022). Pengaruh Penambahan PAC Terhadap Tingkat

- Kekeruhan pada Proses Penjernihan Air Sungai di Perumda Delta Tirta - Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 526-531. <https://doi.org/10.33795/distilat.v8i3.404>  
[https://www.researchgate.net/publication/370947195\\_PENGARUH\\_PENAMBAHAN\\_PAC\\_TERHADAP\\_TINGKAT\\_KEKERUHAN\\_PADA\\_PROSES\\_PENJERNIHAN\\_AIR\\_SUNGGAI\\_DI\\_PERUMDA\\_DELTA\\_TIRTA\\_-\\_SIDOARJO](https://www.researchgate.net/publication/370947195_PENGARUH_PENAMBAHAN_PAC_TERHADAP_TINGKAT_KEKERUHAN_PADA_PROSES_PENJERNIHAN_AIR_SUNGGAI_DI_PERUMDA_DELTA_TIRTA_-_SIDOARJO)
- Rahardja, I. B. (2019). Perhitungan Jumlah Bahan Kimia pada External Water Treatment (Studi Kasus di PMKS XYZ, Kalimantan Tengah). *Jurnal Citra Widya Edukasi*, 11(1), 77–82. <https://garuda.kemdiktisaintek.go.id/documents/detail/1291768>
- Rosariawari, F., & Mirwan, M. (2013). Efektivitas PAC dan Tawas untuk Menurunkan Kekeruhan pada Air Permukaan. *Jurnal Ilmu Teknik Lingkungan*, 5(1), 1-10. <https://www.scribd.com/document/545673484/19209805>
- Singh, V., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2018). Life Cycle Assessment of Ammonia Production Methods. *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, 935-959. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813734-5.00053-6>
- Standar Nasional Indonesia ISO 140440:2016. (2016). *Manajemen lingkungan - penilaian daur hidup - prinsip dan kerangka kerja*. Badan Standardisasi Nasional. <https://id.scribd.com/document/669808675/SNI-ISO-14040-2016-Manajemen-Lingkungan-Penilaian-Daur-Hidup>
- Zexing, L., Yuejin, L., Lingfei, Z., Weiwon, L., & Yulin, T. (2025). Investigating Carbon Emissions Treatment Plant Through Machine Learning: A Case Study In South China. *Journal of Water Process Engineering*, 75. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.108070>
- Zuhria, S. A., & Azmi, S. (2023). Strategi Peningkatan Produktivitas dari Penggunaan Listrik dengan Analisis Jejak Karbon pada Produksi Tepung Karagenan. *Jurnal Optimalisasi*, 9(1), 1-6. <https://doi.org/10.35308/jopt.v9i1.5761>