



Strategi Penurunan Dampak Lingkungan pada Instalasi Pengolahan Air Minum di Kota Balikpapan dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Muhamad Nur Ibnu Luthfi Saud^{1*}, Haifa Cahya Nabila Almunawar², Tasya Mirza Ratu Pattisahusiwa³, Intan Dwi Wahyu Setyo Rini⁴, Rizka Lestari⁵

^{1*234}Teknik Lingkungan, Fakultas Pembangunan Berkelanjutan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia.

⁵ Teknik Kimia, Fakultas Rekayasa dan Teknologi Industri, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan, Indonesia.

*Corresponding email: muhamad.saud@lecturer.itk.ac.id

Received: 15/July/2025
Accepted: 20/August/2025

Revised: 11/August/2025
Published: 21/August/2025

To cite this article:

Saud, M. N. I. L., Almunawar, H. C. N., Pattisahusiwa, T. M. R., Rini, I. D. W. S., Lestari, R. (2025). Strategi Penurunan Dampak Lingkungan pada Instalasi Pengolahan Air Minum di Kota Balikpapan dengan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA). *SPECTA Journal of Technology*, 9(2), 187-197. [10.35718/specta.v9i2.8481481](https://doi.org/10.35718/specta.v9i2.8481481)

Abstract

The provision of clean water for the residents of Balikpapan City is carried out through several Water Treatment Plants (WTPs), such as those located in Kampung Damai and Kilometer (KM) 8. These facilities still employ several conventional treatment methods and equipment that require high amounts of chemicals and electricity, which can have negative impacts on the environment. This study aims to assess the environmental impacts resulting from the production processes at the Kampung Damai and KM 8 WTPs in Balikpapan using the Life Cycle Assessment (LCA) method, and to formulate strategies to reduce their negative environmental impacts. The LCA method is used to systematically and structurally evaluate the environmental impacts of the inputs, processes, and outputs of an activity. The assessment applies the ReCiPe 2016 (midpoint H) model through SimaPro software, with data coverage from gate to gate (from the intake unit to the reservoir). The study found that for every 1 m³ of water produced, the Kampung Damai WTP generates environmental impacts including 0.0179 pt of human carcinogenics, 0.00329 pt of freshwater ecotoxicity, and 0.00266 pt of freshwater eutrophication. Meanwhile, the KM 8 WTP produces 0.026 pt of human carcinogenics, 0.04 pt of freshwater ecotoxicity, and 0.03 pt of marine ecotoxicity. One alternative strategy to reduce environmental impacts is to substitute aluminum sulfate (Al₂SO₄) with Poly Aluminum Chloride (PAC), which can reduce human carcinogenics by up to 28%, freshwater ecotoxicity by up to 12%, and freshwater eutrophication by up to 4% at the Kampung Damai WTP. Furthermore, substituting chemicals with PAC and using low-power equipment can reduce negative impacts on humans, animals, and aquatic environments at the KM 8 WTP by 8.38% for human carcinogenics, 14.09% for freshwater ecotoxicity, and 12.13% for marine ecotoxicity.

Keywords: Environmental Impact, Gate to gate, DWTP, LCA, SimaPro

Abstrak

Pemenuhan kebutuhan air bersih masyarakat Kota Balikpapan dilakukan melalui beberapa Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), seperti Kampung Damai dan Kilometer (KM) 8. Beberapa metode pengolahan dan peralatan konvensional yang membutuhkan bahan kimia dan energi listrik tinggi masih diterapkan, sehingga dapat berdampak negatif terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan menghitung dampak lingkungan akibat proses

produksi di IPAM Kampung Damai dan IPAM KM 8 Kota Balikpapan menggunakan metode LCA, serta merumuskan strategi penurunan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) dapat dimanfaatkan untuk menghitung dampak lingkungan pada *input*, *process*, maupun *output* suatu kegiatan secara sistematis dan terstruktur. Prinsip yang digunakan adalah perhitungan dampak menggunakan model *ReCiPe* 2016 (*midpoint H*) berbasis *software* (SimaPro) dengan cakupan data *gate to gate* (proses dari unit *intake* hingga *reservoir*). Hasil kajian menunjukkan bahwa setiap produksi 1 m³ di IPAM Kampung Damai menghasilkan dampak berupa *human carcinogenics* 0,0179 pt, *freshwater ecotoxicity* 0,00329 pt, dan *freshwater eutrophication* 0,00266 pt. Sedangkan pada IPAM KM 8 menghasilkan dampak *human carcinogenic* 0,026 pt, *freshwater ecotoxicity* 0,04 pt, dan *marine ecotoxicity* 0,03 pt. Upaya alternatif untuk menurunkan dampak lingkungan dapat berupa substitusi bahan kimia aluminium sulfat (Al₂SO₄) menjadi *Poly Aluminium Chloride* (PAC) yang mengurangi *human carcinogenics* hingga 28%, *freshwater ecotoxicity* hingga 12%, dan *freshwater eutrophication* hingga 4% pada IPAM Kampung Damai. Selanjutnya substitusi bahan kimia ke PAC dan peralatan berdaya listrik rendah mampu mengurangi dampak negatif bagi manusia, hewan, hingga lingkungan perairan berupa *human carcinogenics* sebanyak 8,38%, *freshwater ecotoxicity* sebanyak 14,09%, dan *marine ecotoxicity* sebanyak 12,13% di IPAM KM 8 Kota Balikpapan.

Kata Kunci: Dampak Lingkungan, *Gate to gate*, IPAM, LCA, SimaPro.

1. Pendahuluan

Penyediaan air bersih di Kota Balikpapan dilakukan melalui beberapa Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM), seperti Kampung Damai dan Kilometer (KM) 8. IPAM Kampung damai memiliki kapasitas produksi 427 L/detik dan IPAM KM 8 memiliki kapasitas produksi 500 L/detik. Proses produksi air bersih pada kedua IPAM tersebut masih dominan menggunakan bahan kimia karena lebih mudah dan ekonomis. Bahan kimia yang dimaksud berupa aluminium sulfat (Al₂(SO₄)₃ rata-rata 330.543 kg/tahun), kapur (CaCO₃ rata-rata 547.790 kg/tahun), dan kaporit (Ca(ClO)₂ rata-rata 339.373 kg/tahun). Kualitas air baku yang fluktuatif membutuhkan penambahan bahan kimia lebih banyak dan berpotensi negatif terhadap lingkungan (misalnya *human toxicity*, *fresh water toxicity*, *marine eutrofication*, *global warming*, *ozone depletion*, dan lain sebagainya) (Karnaningroem dan Anggraeni, 2021). Selain itu, IPAM KM 8 dan Kampung Damai juga masih bergantung pada energi listrik sebagai penggerak peralatan yang ada dengan nilai rata-rata 3.004.128 kWh dan 5.527.596 kWh pada Tahun 2024 (Data PDAM, 2025). Penggunaan energi listrik dapat memberikan dampak negatif karena emisi CO₂ (tingkat akumulasi berbanding lurus terhadap penggunaannya) yang dihasilkan (Annisaa, dkk., 2022; Irawati dan Andrian, 2018). Sebagai usaha menekan dampak bagi lingkungan; menjaga kualitas produksi; hingga mencukupi kebutuhan air bersih masyarakat Kota Balikpapan secara berkelanjutan, maka diperlukan penilaian (*assessment*) terhadap kegiatan produksi yang ada saat ini. Penilaian dapat menggunakan beberapa metode, contohnya neraca massa secara sederhana ataupun metode *Life Cycle Assessment* (LCA) yang lebih sistematis dan akurat (Pré, *et al.*, 2014). Penelitian Rodriguez, *et al* (2016) menemukan bahwa penggunaan metode LCA dapat mengukur besaran dampak ke udara ambien akibat aktivitas industri.

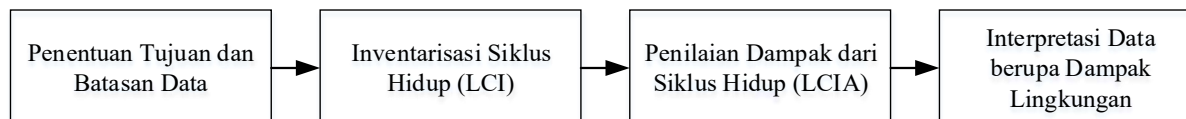
Analisis daur hidup (LCA) akan menghitung dampak lingkungan akibat suatu produk maupun kegiatan. Metode LCA menampilkan perspektif saling ketergantungan antar kegiatan dalam bentuk data kuantitatif maupun kualitatif sehingga merepresentasikan dampak lingkungan secara lebih spesifik (Faradina *et al.*, 2023; ISO 14040:2016). Penelitian Nurbaiti, dkk (2023) menggunakan metode LCA pada pengolahan air konvensional menghasilkan bahwa adanya dampak berupa *respiratory inorganics*, *global warming*, dan *non-renewable energy*. Penelitian Rodriguez, *et al* (2016), dengan metode LCA juga mendapatkan bahwa pengolahan air dengan teknologi modern menghasilkan *Global Warming Potential* (GWP) akibat penggunaan koagulan dan konsumsi listrik. Sistem pengolahan air di IPAM Kampung Damai dan IPAM KM 8 masih memanfaatkan metode gabungan (konvensional dan modern), sehingga penggunaan metode LCA pada penelitian ini dapat mengestimasi titik-titik dampak potensial.

Mengacu dari beberapa hal yang dijelaskan, maka penelitian ini akan menghitung dampak lingkungan pada proses produksi air bersih di IPAM KM 8 dan IPAM Kampung Damai. Pendekatan permodelan

menggunakan *ReCiPe* 2016 pada perangkat lunak SimaPro. Cakupan data akan dibatasi secara *gate to gate*. Selanjutnya, data yang didapat akan direpresentasikan sebagai skenario alternatif untuk menekan dampak lingkungan yang dihasilkan.

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan tahapan berupa studi lapangan (di IPAM KM 8 dan IPAM Kampung Damai Kota Balikpapan) untuk mendapatkan data yang diperlukan dan tahapan analisis data pada perangkat lunak SimaPro. Data yang diolah pada penelitian ini menggunakan data sekunder dari hasil rekapitulasi yang dimiliki oleh IPAM Kampung Damai dan IPAM KM 8. Langkah-langkah penelitian mengacu dari ISO 14040 (2016) sebagai berikut:



Gambar 1: Alur Penelitian

Sumber: Peneliti, 2025

1. Tujuan dan Batasan (*Goal and Scope*)
Tahapan ini merupakan titik awal untuk menentukan tujuan dan batasan studi. Tujuan yang ada adalah sesuai dengan tujuan penelitian, sedangkan batasan studi adalah *gate-to-gate*. Peneliti membatasi data yang digunakan (secara *gate to gate*) untuk melihat dampak lingkungan dari proses produksi, yakni kegiatan maupun data yang berhubungan dengan proses masuknya air ke unit *intake* hingga berakhir pada unit *reservoir*.
2. Inventaris Siklus Hidup (*Life Cycle Inventory, LCI*)
Merupakan tahapan ke-dua berupa pengumpulan data-data yang diperlukan. Data yang dikumpulkan mencakup *input* (meliputi debit air olahan, jenis dan kuantitas penggunaan bahan kimia, jumlah dan jenis unit pengolahan, nilai konsumsi energi listrik, serta hal lain yang serupa) dan *output* (mencakup limbah maupun emisi) yang berada dalam lingkup penelitian. Inventarisasi ini disesuaikan antara unit yang beroperasi di lapangan dengan data sekunder yang dimiliki oleh IPAM dan kemudian dimasukkan pada perangkat lunak SimaPro.
3. Penilaian Dampak Siklus Hidup (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*)
Tahapan LCIA akan menilai dampak-dampak lingkungan dari suatu kegiatan. Penelitian ini menggunakan metode *ReCiPe* 2016 *midpoint* H (hubungan kerangka waktu dengan isu lainnya) karena mampu mengklasifikasikan kategori dampak lebih banyak. Pada tahap ini juga meliputi karakterisasi untuk mengetahui kategori dampak yang ditimbulkan dan normalisasi untuk mendapatkan nilai dengan satuan yang sama dari masing-masing kategori. Penilaian dampak dilakukan dengan memasukkan data hasil inventarisasi ke dalam perangkat lunak SimaPro.
4. Interpretasi (*Interpretation*)
Merupakan tahap terakhir pada metode LCA untuk menganalisis dampak yang dihasilkan. Perangkat lunak SimaPro akan menampilkan beberapa kategori dampak berdasarkan data yang di *input*, sehingga peneliti dapat mengklasifikasikan berdasarkan skor tertinggi. Skor dampak dari masing-masing kategori akan dinormalisasi sebagai 1 m³ air produksi sehingga mudah diidentifikasi. Selanjutnya skor tertinggi (paling potensial) akan dijadikan dasar untuk menentukan rekomendasi penurunan dampak lingkungan yang dihasilkan.

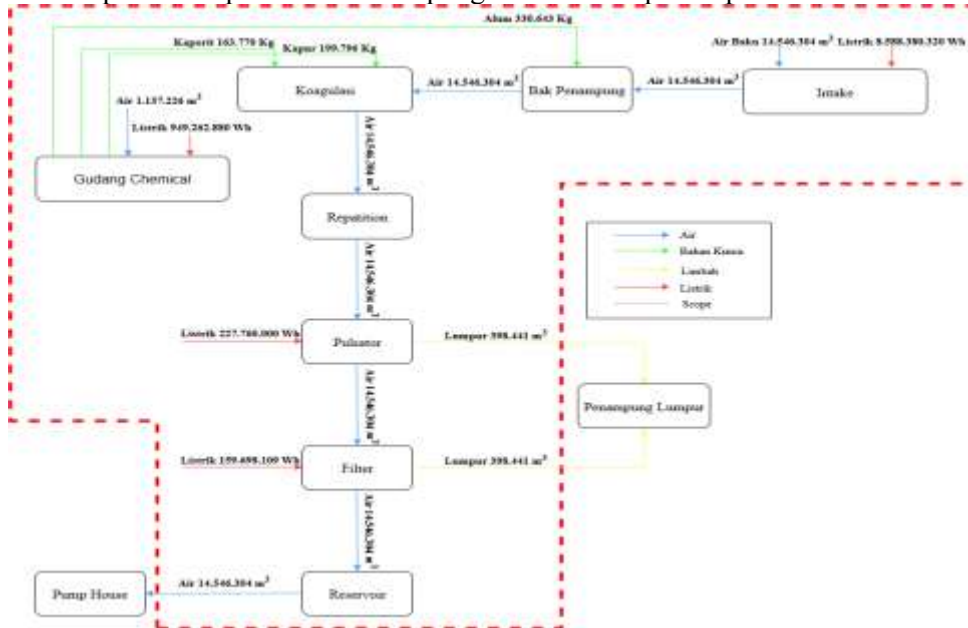
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Life Cycle Assessment (LCA)

Hasil data akan dibahas berdasarkan tahapan penelitian, yaitu *Goal and scope*, *Life Cycle Inventory (LCI)*, *Life Cycle Impact Assessment (LCIA)* dan *Interpretation*.

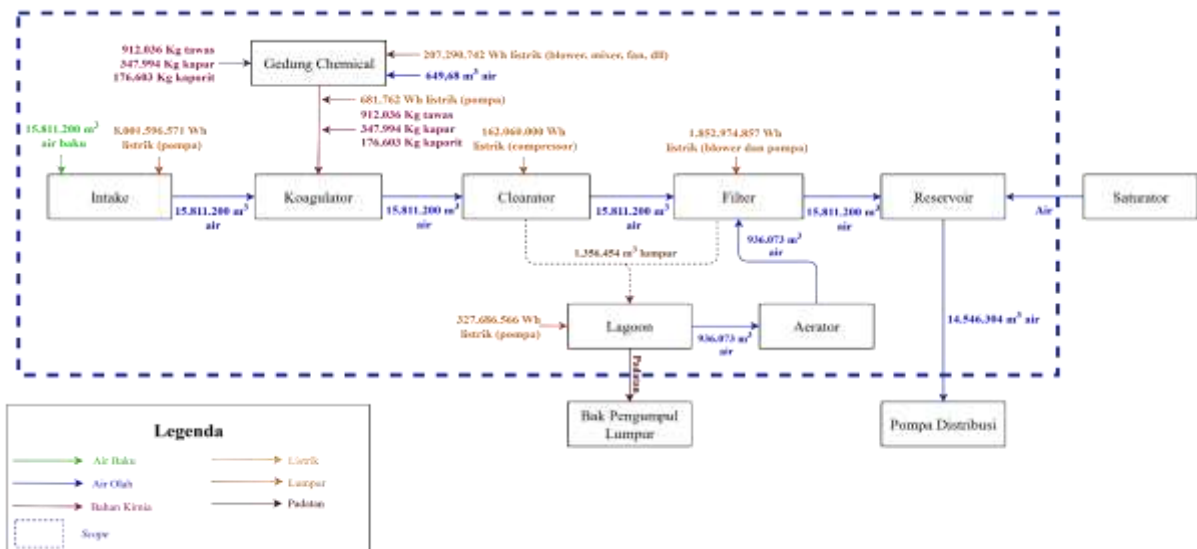
1. Tujuan dan Batasan (*Goal and Scope*)

Pada tahap ini didapatkan batasan data berupa proses pengolahan yang terdiri dari pengambilan air baku di *intake*, proses pengolahan, hingga penampungan air terolah di *reservoir*. Neraca massa dan batasan sistem penelitian pada IPAM Kampung Damai ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2: Neraca Massa dan *Scope* Penelitian pada IPAM Kampung Damai
 Sumber: Peneliti, 2025

Pada **Gambar 2** terlihat bahwa unit *intake* memiliki *input* berupa air baku dan energi listrik untuk pompa. Selanjutnya melewati bak penampungan dan menuju unit koagulasi. Pada unit koagulasi memiliki *input* berupa air, kaporit, dan kapur. Tahap selanjutnya, *output* koagulasi berupa air terolah akan menuju unit *reputition*, *pulsator*, dan *filter*. Pada unit *pulsator* dan *filter* membutuhkan *input* energi listrik dan menghasilkan *output* berupa air terolah dan lumpur. Pada unit penampungan (*reservoir*) membutuhkan *input* berupa air hasil *filter* dan *output* berupa air baku terolah. Neraca massa dan batasan sistem penelitian pada IPAM KM 8 ditampilkan pada **Gambar 3** di bawah ini.



Gambar 3: Neraca Massa dan *Scope* Penelitian pada IPAM KM. 8
 Sumber: Peneliti, 2025

Proses produksi yang ada di IPAM KM. 8 adalah air menuju unit *intake* dengan *input* berupa air baku dan energi listrik untuk pompa. Air baku (sebagai *output* unit *intake*) selanjutnya menuju unit koagulator dengan *input* berupa air, tawas, kapur, kaporit, dan energi listrik. Pada unit *clearator*, *input* berupa air

hasil koagulasi dan energi listrik untuk menyalakan kompresor. *Output* berupa air terolah akan menuju unit filter dan lumpur akan menuju unit lagoon. Pada unit lagoon, lumpur akan dikeringkan sehingga *output* berupa air diteruskan menuju unit aerator dan filter. Terakhir, pada unit reservoir akan memiliki *input* berupa air hasil terolah dan *output* berupa air yang siap untuk dimanfaatkan.

2. Inventaris Siklus Hidup (*Life Cycle Inventory, LCI*)

Pada tahap ini, data-data pendukung berupa primer dan sekunder akan dikumpulkan. Data yang dikumpulkan bersumber dari Laporan Tahunan IPAM Kampung Damai dan Laporan Tahunan IPAM KM 8 periode Januari 2024 hingga Desember 2024. Data-data tersebut mencakup penggunaan bahan baku, energi listrik, serta residu (limbah) dan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1: Inventori Data IPAM Damai dan IPA KM 8

No.	Unit Pengolahan	Input/ Output	Material	Nilai		Satuan per Tahun
				IPAM Kp. Damai	IPAM KM 8	
1.	Intake	Input	Air Baku	1	1	m ³
			Listrik	590,4	506	Wh
		Output	Air	1	1	m ³
2.	Gudang Bahan Kimia	Input	Air	0,078	0,041	m ³
			Kaporit	0,011	0,011	kg
			Tawas	0,022	0,058	kg
			Kapur	0,013	0,022	kg
			Listrik	65,258	57,83	Wh
		Output	Kaporit	0,011	0,011	kg
			Tawas	0,022	0,058	kg
3.	Bak Penampung	Input	Air Baku	1	-	m ³
			Alum	0,022	-	kg
		Output	Air	1	-	m ³
4.	Koagulator	Input	Air Baku	1	1	m ³
			Kaporit	0,011	0,011	kg
			Tawas	0,022	0,058	kg
		Kapur	0,013	0,022	kg	
		Output	Air	-	1	m ³
5.	Repetition	Input	Air dari unit Koagulasi	1	-	m ³
		Output	Air	1	-	m ³
6.	Pulsator / Clearator	Input	Air dari unit Repetition/Koagulator	1	1	m ³
			Listrik	15,658	10,25	Wh
		Output	Air	1	1	m ³
7.	Filter	Input	Lumpur	0,027	0,043	m ³
			Air dari Unit Clearator dan Aerator	1	1	m ³
		Output	Listrik	10,979	156,53	Wh
			Air	1	1	m ³
8.	Lagoon	Input	Lumpur	-	0,086	m ³
			Listrik	-	23,77	Wh
		Output	Air	-	0,059	m ³
9.	Aerator	Input	Air dari Lagoon	-	0,059	m ³
		Output	Air	-	0,059	m ³
10.	Reservoir	Input	Air dari Filter	1	1	m ³
		Output	Air	1	1	m ³

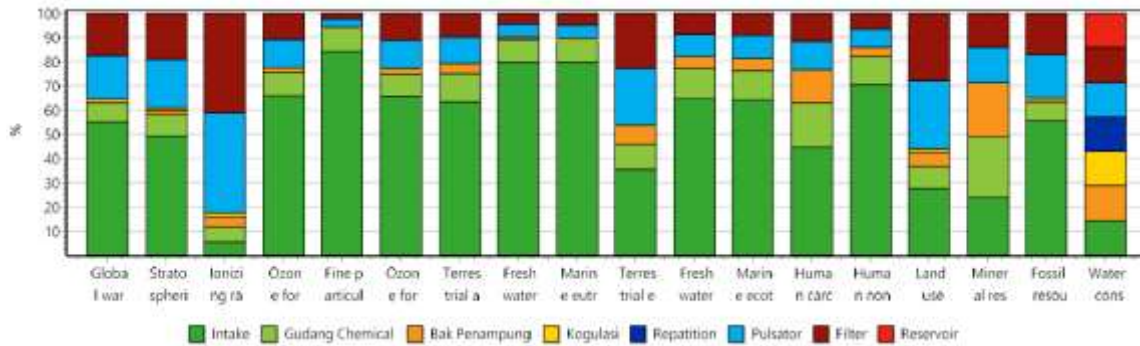
Sumber: IPAM KM. 8 dan IPAM Kampung Damai, 2024

3. Penilaian Dampak Siklus Hidup (*Life Cycle Impact Assessment, LCIA*)

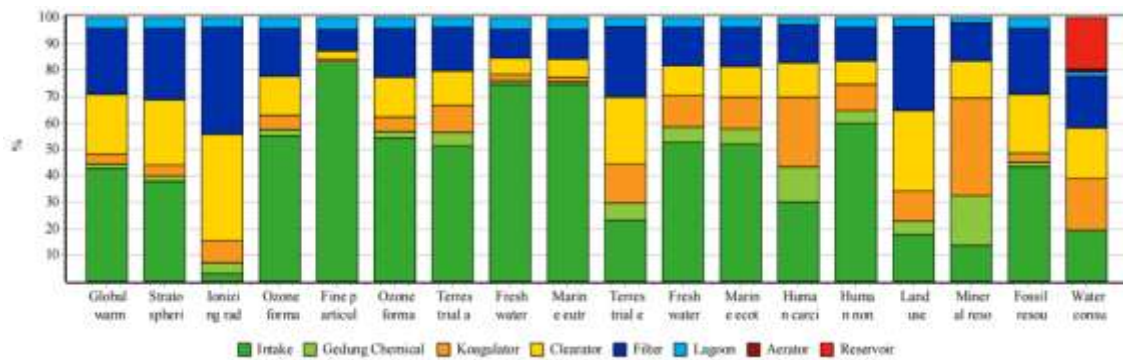
Tahap LCIA terbagi menjadi *characterization* (membandingkan hasil LCI dengan kategori dampak) dan *normalization* (kalkulasi *characterization* dengan nilai normalisasi) sebagai berikut.

a. *Characterization*

Characterization atau karakterisasi akan menyajikan dampak-dampak lingkungan akibat kegiatan yang dilakukan dan ditampilkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5** di bawah ini.



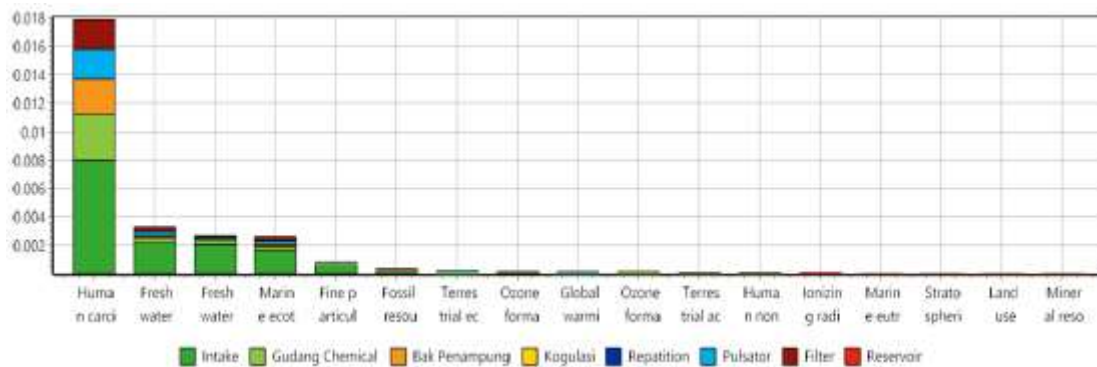
Gambar 4: Hasil *Characterization* IPAM Kampung Damai
 Sumber: Peneliti, 2025



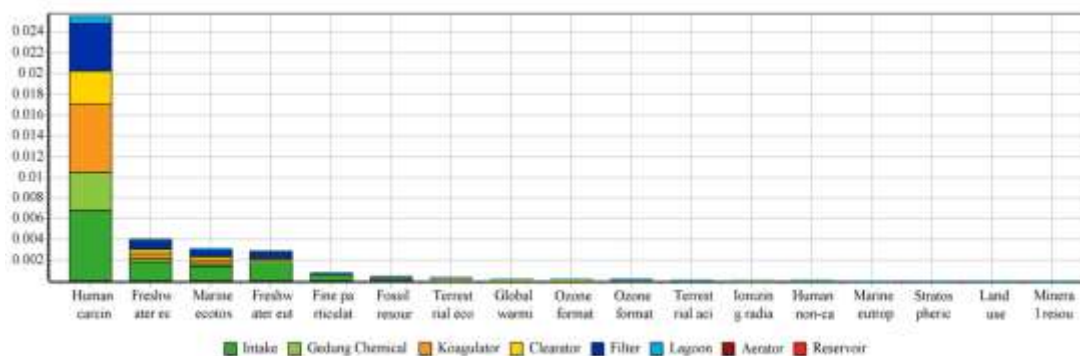
Gambar 5: Hasil *Characterization* IPAM KM 8
 Sumber: Peneliti, 2025

b. *Normalization*

Normalization bertujuan untuk menyeragamkan satuan pada masing-masing kategori dampak. Nilai normalisasi merupakan hasil kalkulasi nilai *characterization* dengan faktor normalisasi. Nilai yang dimaksud ditampilkan pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



Gambar 6: Hasil *Normalization* IPAM Kampung Damai
 Sumber: Peneliti, 2025



Gambar 7: Hasil Normalization IPAM KM 8

Sumber: Peneliti, 2025

4. Interpretasi (*Interpretation*)

Interpretation sebagai tahapan menganalisis dampak yang dihasilkan hanya akan memilih tiga (3) kategori dampak dengan skor terbesar pada masing-masing IPAM. Dampak-dampak tersebut antara lain:

a. *Human Carcinogenics Toxicity*

Salah satu dampak toksisitas terbesar pada IPAM Kampung Damai dan IPAM KM 8 adalah serupa, berupa *human carcinogenic toxicity* dari penggunaan energi listrik dan bahan kimia. Kondisi tersebut terlihat pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**, bahwa nilai sebesar 0,00179 *point* (pt) didapatkan pada unit *intake* IPAM Kampung Damai dan nilai sebesar 0,00832 pt didapatkan juga pada unit *intake* IPAM KM 8. Produksi energi listrik umumnya memanfaatkan energi fosil berbasis batubara, dimana dapat melepaskan Kromium (Cr) dan senyawa *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAH) yang bersifat karsinogenik (Aslam *et al.*, 2024). Cr dan PAH dapat terakumulasi melalui udara, makanan, ataupun kontak kulit dan mengakibatkan kanker paru-paru, saluran pernapasan, sistem pencernaan, hingga iritasi pada kulit dan mata (Hernawan *et al.*, 2024). Di sisi lain, bahan kimia Al_2SO_4 yang bersifat beracun juga berbahaya bagi makhluk hidup karena dapat merusak membran mukosa (Adi, *et al.*, 2022; De Jesus, *et al.* 2024). Bahan kimia tersebut digunakan pada proses koagulasi, dimana jumlahnya bergantung pada kualitas air yang akan diolah. Semakin tinggi penggunaan energi listrik dan bahan kimia, maka potensi *human carcinogenics toxicity* semakin meningkat sehingga perlu solusi untuk menekan penggunaannya.

b. *Freshwater Ecotoxicity*

Hasil data menunjukkan bahwa IPAM Kampung Damai dan IPAM KM 8 memberikan dampak *freshwater ecotoxicity* masing-masing sebesar 0,00329 pt dan 0,000866 pt. Kategori dampak ini diakibatkan banyaknya senyawa beracun yang terlepas ke lingkungan melalui pemanfaatan bahan kimia, senyawa beracun yang ada pada sumber air baku, maupun penggunaan energi listrik (Arianti, *et al.*, 2024). Pemanfaatan bahan kimia terletak pada unit koagulasi/koagulator (yang menggunakan koagulan) dan disinfeksi yang menggunakan (kaporit). Beberapa senyawa kimia yang mempengaruhi misalnya Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) yang ditemukan dalam bentuk ion $CuCO_3$ dan $CuOH$ di badan air (Huijbregts, *et al.*, 2017; Putri, 2018). *Freshwater ecotoxicity* juga dipengaruhi sumber air baku yang diolah. Wilayah Waduk Manggar sebagai sumber air baku IPAM yang dikelilingi oleh pemukiman dan beberapa industri kecil, secara langsung maupun tidak langsung dapat mengkontaminasi kualitas air melalui limbah yang dihasilkan (Arianti, *et al.*, 2024). Selain itu, pengaruh energi listrik adalah dari kegiatan pertambangan seperti penggalian, pencucian, hingga penyimpanan dan tercatat pada *inventory* SimaPro sebagai sumber kontaminan (Annisa dan Yusrianti, 2022).

c. *Freshwater Eutrophication*

Nilai *freshwater eutrophication* adalah 0,00266 pt yang dihasilkan oleh IPAM Kampung Damai pada unit *intake*. *Freshwater eutrophication* merupakan konsentrasi nutrisi (fosfat, ammonia, nitrogen oksida, maupun nitrat) pada suatu ekosistem sehingga memicu peningkatan perkembangan alga di air (Rini, dkk., 2022). Unit *intake* sebagai titik penghasil

freshwater eutrophication yang dominan, dipengaruhi oleh aktivitas manusia yang menghasilkan limbah. Sebagai contoh, penggunaan pestisida dan pupuk pada sektor pertanian, sisa pakan dan kotoran ikan pada sektor perikanan, limbah kotoran ternak pada sektor peternakan, senyawa fosfat pada sektor industri dan pertambangan, limbah rumah tangga pada sektor domestik, maupun material logam yang terekspos dipermukaan tanah akibat kebakaran hutan pada sektor kehutanan (Yusal, dkk., 2025). Selain itu, kategori dampak ini juga dapat diakibatkan penggunaan bahan kimia serta residu (berupa lumpur) pada proses produksi air bersih (Karnaningroem dan Anggraeni, 2021).

d. *Marine Ecotoxicity*

Marine ecotoxicity sebesar 0,000712 pt ditemukan pada penilaian dampak di IPAM KM 8. Dampak tersebut mengacu pada senyawa kimia yang bereaksi dengan polutan lain di air baku sehingga terdeformasi menjadi zat beracun bagi biota air. Beberapa contoh unsur kimia beracun yakni Seng (Zn), Kadmium (Cd), *Trihalometana* (THM), maupun *Haloacetic Acids* (HAA) yang juga bersumber dari penggunaan koagulan, disinfektan, ataupun bahan kimia lainnya pada proses produksi air baku di IPAM (Maharani, dkk., 2022; Xu, *et al.*, 2014). Keberadaan CH_3COOH (pada sumber air baku) juga dapat meningkatkan pengaruh *marine ecotoxicity* pada unit *intake* IPAM KM 8. Senyawa tersebut sangat mudah terbentuk akibat reaksi kimia antara metanol (CH_3OH) dengan karbon monoksida (CO) terlarut (Rini, dkk., 2022).

3.2. Rekomendasi Penurunan Dampak Lingkungan

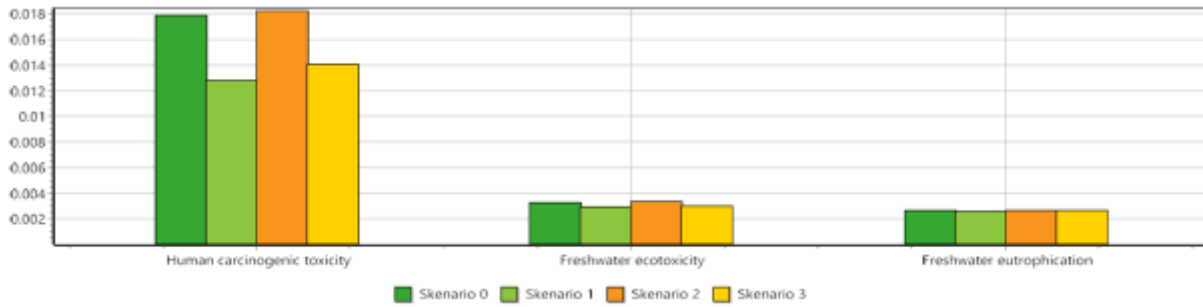
Berdasarkan *interpretation*, diketahui bahwa dampak lingkungan terbesar dari produksi air bersih di IPAM Kampung Damai dan IPAM KM 8 adalah penggunaan energi listrik dan bahan kimia. Rekomendasi penurunan dampak yang diberikan berdasar pada dampak lingkungan terbesar. Adapun tujuan penyusunan skenario ini merupakan upaya untuk mengetahui alternatif pengolahan air minum dengan dampak lingkungan yang paling kecil, sehingga dapat dijadikan sebagai rekomendasi untuk menentukan kebijakan yang tepat (Rini dkk, 2022). Terdapat beberapa skenario alternatif yang direncanakan antara lain:

Tabel 2: Perbandingan Strategi Penurunan Dampak Lingkungan

Strategi Penurunan Dampak Lingkungan	Instalasi Pengolahan Air Minum di Kota Balikpapan	
	IPAM Kampung Damai	IPAM KM. 8
Skenario 1	Substitusi bahan kimia (Al_2SO_4) ke PAC	Substitusi bahan kimia (Al_2SO_4) ke PAC
Skenario 2	Substitusi bahan kimia (Kapur) ke <i>Soda Ash</i>	Substitusi pompa <i>intake</i> berdaya rendah
Skenario 3	Kombinasi Skenario 1 dan 2	Kombinasi Skenario 1 dan 2

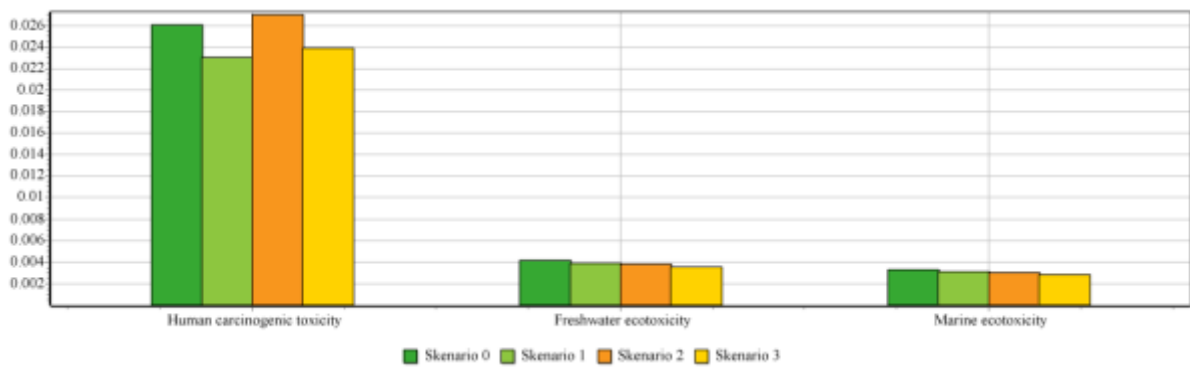
Sumber: Peneliti, 2025

Skenario-skenario yang dijabarkan di atas selanjutnya dilakukan perhitungan pada SimaPro untuk mencari efektivitas terbaik. Perbandingan setiap skenario pada IPAM Kampung Damai ditampilkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 8: Perbandingan Skenario Penurunan Dampak di IPAM Kampung Damai
Sumber: Peneliti, 2025

Sebagaimana yang terlihat pada **Gambar 8**, bahwa Skenario 1 berupa substitusi Al_2SO_4 ke PAC menghasilkan penurunan dampak terbaik. Skenario tersebut terbukti menurunkan *human carcinogenic toxicity* sebesar 28% (0,0128 pt), *freshwater ecotoxicity* sebesar 12% (0,00289 pt), serta *freshwater eutrophication* sebesar 4% (0,00255 pt). Skenario terbaik untuk menurunkan dampak lingkungan di IPAM KM 8 ditampilkan pada **Gambar 9** berikut ini.



Gambar 9: Perbandingan Skenario Penurunan Dampak di IPAM KM 8
Sumber: Peneliti, 2025

Hasil perbandingan yang ditampilkan pada **Gambar 9** menunjukkan bahwa seluruh skenario dapat menurunkan dampak lingkungan. Penurunan dampak paling signifikan adalah pada Skenario 3 berupa substitusi Al_2SO_4 ke PAC dan substitusi pompa *intake* berdaya rendah. Skenario tersebut mampu menurunkan *human carcinogenic toxicity* sebesar 8,38% (0,0239 pt), *freshwater ecotoxicity* sebesar 14,09% (0,003562 pt), dan *marine ecotoxicity* sebesar 12,13% (0,00286 pt).

4. Kesimpulan

Mengacu dari hasil kajian, maka didapatkan beberapa kesimpulan yang dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengevaluasi dan mengembangkan proses produksi di IPAM. Kesimpulan tersebut antara lain:

1. Hasil pengamatan lapangan dan perhitungan menggunakan metode LCA model *ReCiPe* 2016 *midpoint* (H) dengan *software* SimaPro secara *gate to gate*, maka diketahui titik-titik dampak lingkungan potensial. Dampak lingkungan dapat bersumber dari penggunaan bahan kimia (aluminium sulfat dan kaporit) serta peralatan berdaya listrik tinggi (pompa, *blower*, *mixer*, dan *compressor*). Setiap produksi 1 m³ air baku akan berdampak *human carcinogenics toxicity* sebesar 0,0179 pt; *freshwater ecotoxicity* 0,00329 pt; dan *freshwater eutrophication* 0,0026 pt pada IPAM Kampung Damai. Selain itu, *human carcinogenics toxicity* 0,026 pt; *freshwater ecotoxicity* 0,004 pt; dan *marine ecotoxicity* 0,003 pt pada IPAM KM 8 Kota Balikpapan.
2. Rumusan strategi untuk menurunkan dampak negatif terhadap lingkungan dari proses produksi air baku di IPAM Kampung Damai adalah dengan substitusi bahan kimia aluminium sulfat (Al_2SO_4) menjadi *Poly Aluminium Chloride* (PAC) yang mampu menurunkan *human carcinogenics* hingga 28%, *freshwater ecotoxicity* 12%, dan *freshwater eutrophication* 4%. Selanjutnya pada IPAM KM

8 Kota Balikpapan adalah selain dengan substitusi bahan kimia ke PAC, juga dapat ditambahkan substitusi pompa berdaya rendah pada unit *intake* dimana mampu menurunkan *human carcinogenics* hingga 8,38%, *freshwater ecotoxicity* 14,09%, dan *marine ecotoxicity* 12,13%. Aspek lain yang dapat dilakukan untuk melengkapi aspek penilaian dampak adalah melalui penelitian dengan memperluas cakupan data secara *cradle to grave*.

Ucapan Terima Kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Kalimantan yang telah membantu secara materiil maupun immateriil sebagaimana tercantum dalam kontrak penelitian nomor 13256/IT10.L1/PPM.04/2025. Penulis juga mengucapkan terima kasih pada seluruh pihak yang membantu secara langsung maupun tidak langsung sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

Daftar Pustaka

- Abdel, S. H. I., & Mansour, M. S. M. (2016). 'A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: Source, environmental impact, effect on human health and remediation'. *Egyptian Journal of Petroleum*, Vol. 25(1), 107–123.
- Adi, B. K., Joko, T., & Setiani, O. (2022). 'Life Cycle Assessment, Is it Beneficial for Environmental Sustainability A Literature Review'. *Jurnal Serambi Engineering*, Vol. 7(3), 3243–3251
- 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 Envirotek*, 14(2), 132–137.
- Arianti, R., Febriani, H., & Syukriah. (2024). 'Analisis Kandungan Logam Seng (Zn) Pada Air dan Daging Ikan Tilan (*Mastacembelus Armatus*) di Sungai Asahan Kota Tanjungbalai'. *Jurnal Ilmu Perikanan dan Kelautan Indonesia* (Vol. 6, Issue 1).
- Aslam, H., Hashmi, A., Khan, I., Ahmad, S., & Umar, R. (2024). 'Deciphering Effects of Coal Fly Ash on Hydrochemistry and Heavy Metal(loid)s Occurrence in Surface and Groundwater: Implications for Environmental Impacts and Management'. *Water, Air, and Soil Pollution Journal*, Vol. 235(10).
- De Jesus, J. O. N., Medeiros, D. L., Esquerre, K. P. O., Sahin, O., & de Araujo, W. C. (2024). 'Water Treatment with Aluminum Sulfate and Tanin-Based Biocoagulant in an Oil Refinery: The Technical, Environmental, and Economic Performance'. *Sustainability*, Vol. 16(3).
- Faradina, R., Afuiddin, A. E., & Sophia, V. (2023). 'Kajian Life Cycle Assessment Pengolahan Air di IPAM Ngagel II Surabaya dengan Metode IMPACT 2002 + Endpoint'. In *Proceeding on Waste Treatment Technology, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, No. 2623, 302–306.
- Hernawan, E., Meylani, V., Biologi, J. P., Keguruan, F., & Siliwangi, U. (2024). 'The Analysis of Hexavalent Chromium and Isolation of Bacteria Degrade Batik Wastewater in Tasikmalaya City'. *Journal of Natural Sciences*, Vol. 5 (1), 10–22.
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M. D. M., Hollander, A., Zijp, M., & van Zelm, R. (2017). *ReCiPe 2016 v1.1 'A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I': Characterization*.
- Irawati, D. Y., & Andrian, D. (2018). 'Analisa Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA)'. *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 19 (2), 166–177.
- ISO 14040:2016. (2016). 'Manajemen Lingkungan-Penilaian Daur Hidup-PRINSIP dan Kerangka Kerja'. Standar Nasional Indonesia.
- Karnaningroem, N., & Anggraeni, D. R. (2021). 'Study of Life Cycle Assessment (LCA) on Water Treatment'. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 799(1).
- Maharani, M., Hermana, J., & Yuniarto, A. (2022). 'Evaluasi Program Unggulan Pengelolaan Lingkungan PLTU X Jawa Timur Berdasarkan Life Cycle Assessment (LCA)'. *Jurnal Envirotek*, Vol. 14 (1), 80–89.
- 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'. *Envirovs*, Vol. 2 (2), 21–27.
- Putri, S. N., Hakim, L., & Putra, H. P. (2018). 'Life Cycle Assessment (LCA) Proses Produksi Kain Pabrik Tekstil (Studi Kasus: PC. GKBI Medari Yogyakarta)'. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 1(1), 1–8.
- Pré. (2014). *Simapro Database Manual*. 3–48.
- Ratnaningsih, D., Wahyudi, H., Hamonangan Panjaitan, E., & Situmorang, J. (2019). 'Identifikasi Awal Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) di Udara Ambien Serpong-Jakarta'. *Jurnal Ecolab*, Vol. 8(1), 23–31.
- Rini, I. D. W. S., Maria, M., Anifah, E. M., Saputra, A. A. I., Gunawan, A., Arobi, A. I. (2022). 'Analisis Dampak Lingkungan Pengolahan Limbah Fly Ash dan Bottom Ash dengan Metode Siklus Daur Hidup (*Life Cycle*

- Assessment/LCA) di Industri Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. *Specta Journal of Technology*, Vol. 6 (3), 263-272.
- Rodriguez, O. O., Villamizar-Gallardo, R. A., & García, R. G. (2016). 'Life Cycle Assessment of Four Potable Water Treatment Plants In Northeastern Colombia'. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Vol. (2), 268–278.
- Xu, G., Li, D., Jiao, B., Guo, S., & Peng, Q. (2014). 'Emission of Cu, Zn and Cd from Coal in Songzao Coal Mine During The Process Of Combustion'. *Asian Journal of Chemistry*, 26(17), 5887–5890.
- Yusal, M. S., Hasyim, A., Hastuti., Arif, A., Pratomo, R. H. S. (2025). 'Review Eutrofikasi: Risiko dalam Kesuburan Lingkungan Perairan dan Upaya Penanggulangannya'. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 24(1), 124-135.