

Environmental Impact Analysis of Water Treatment Process (WTP) Using LCA and AHP

[Analisa Dampak Lingkungan Pengolahan Air Bersih Instalasi Pengolahan Air (IPA) Menggunakan LCA dan AHP]

Aditya Yoga Pratama¹⁾, Inggit Marodiyah ^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: inggit@umsida.ac.id

Abstract. *Water treatment at the Kedunguling Water Treatment Plant (WTP) has an impact on the environment due to the use of chemicals during the water purification process. This study aims to determine the environmental impact of the Kedunguling water treatment plant and determine the best alternative to reduce the impact on the environment at the Kedunguling water treatment plant. The method used to analyze environmental impacts is Life Cycle Assessment (LCA) and AHP to provide the best alternative. The results obtained are the impact of the flocculation process on water treatment provides the highest global warming impact, which is 71244.1 kg CO₂-eq while the sedimentation process provides the highest eutrophication impact of 1.86E-03 kg CO₂-eq. The best alternative to minimize the environmental impact caused by the water treatment process is to maximize sudge treatment before discharging into the river with a weight percentage of 42%.*

Keywords – Water treatment; GWP; LCA; AHP; expert choice

Abstrak. *Pengolahan air pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedunguling memberikan pengaruh terhadap lingkungan karena penggunaan bahan kimia selama proses penjernihann air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak lingkungan pada instalasi pengolahan air kedunguling dan menentukan alternatif terbaik untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan pada instalasi pengolahan air kedunguling. Metode yang digunakan untuk menganalisa dampak lingkungan yaitu Life Cycle Assessment (LCA) dan AHP untuk memberikan alternatif terbaik. Hasil yang didapatkan yaitu dampak proses flokulasi pada penglahan air memberikan dampak pada global warming tertinggi, yaitu sebesar 71244,1 kg CO₂-eq sedangkan proses sedimentasi memberikan dampak eutrofikasi tertinggi yaitu sebesar 1,86E-03 kg CO₂-eq. Alternatif terbaik untuk meminimalisasi dampak lingkungan yang ditimbulkan pada proses pengolahan air yaitu dengan memaksimalkan pengolahan sudge sebelum dibuang ke sungai dengan persentase bobot sebesar 42%.*

Kata Kunci – Pengolahan air; GWP; LCA; AHP ; expert choice

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PDAM Delta Tirta Sidoarjo merupakan perusahaan daerah yang bergerak di bidang pengolahan air sekaligus pendistribusian air bersih. PDAM Delta Tirta Sidoarjo menggunakan Instalasi Pengolahan Air (IPA) dalam mengolah dan memproduksi airnya yang tersebar di beberapa daerah di Sidoarjo. Salah satunya yaitu IPA Kedunguling yang terletak di Desa Kedung Banjar, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo [1]. IPA Kedunguling merupakan IPA dengan pengolahan air secara konvensional, dimana proses pengolahannya melalui beberapa unit yang terdiri dari intake, koagulasi, flokulasi, sedimentasi, filtrasi, disinfeksi, dan reservoir. Dengan memanfaatkan air sungai yang berasal dari saluran avur (pembuangan) sebagai sumber air baku, yang kemudian melewati proses pengolahan hingga menjadi air bersih yang sudah memenuhi standar baku mutu sesuai PERMENKES No.2/2023 [2].

Dalam setiap proses pengolahannya Instalasi pengolahan Air (IPA) Kedunguling menghasilkan dampak negatif yang cukup signifikan terhadap lingkungan [3]. Fenomena ini didasari oleh beberapa faktor, yaitu konsumsi energi listrik pada beberapa unit pengolahan secara tidak langsung dapat menghasilkan emisi berupa CO₂, yang akhirnya menimbulkan efek rumah kaca dan pemborosan sumber daya alam [4]. Selain itu penggunaan bahan kimia berupa PAC (Poly Aluminium Chloride) dan klorin sebagai koagulan dan disinfektan dapat meninggalkan zat sisa residu atau produk hasil samping di dalam air olahan, bersama dengan timbulnya limbah berupa endapan yang dihasilkan dari produksi IPA itu sendiri [5]. Dengan kondisi sumber daya air yang menurun, teknologi, dan tingginya teknik pengolahan, kebutuhan energi dan biaya pasti akan meningkat. Semakin tinggi kapasitas pengolahan air bersih maka semakin besar jumlah limbah beserta dampak lingkungan yang dihasilkan [4]. Secara tidak langsung Instalasi Pengolahan Air milik PDAM bertanggung jawab terhadap dampak lingkungan yang terjadi.

Terdapat suatu metode pendekatan khusus yang memungkinkan untuk melakukan identifikasi dan analisis dampak lingkungan yang terjadi yaitu metode Life Cycle Assessment (LCA) [6]. LCA merupakan pendekatan sistematis yang digunakan untuk menilai implikasi lingkungan yang terkait dengan proyek, produk, atau jasa [4]. LCA memiliki kemampuan untuk menilai dampak lingkungan secara keseluruhan yang timbul dari setiap fase siklus hidup produk, sehingga memungkinkan identifikasi komponen spesifik yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan yang paling signifikan [3]. LCA memiliki sejumlah keunggulan seperti, kemampuan untuk mengevaluasi sistem dan memberikan hasil analisis yang mendalam. Selain itu, LCA memberikan hasil analisis siklus hidup yang dapat digunakan untuk peningkatan sistem. Hasil analisis dapat menunjukkan dampak lingkungan atau dominasi zat yang berkontribusi yang mendorong dampak tersebut menjadi substantif. Khususnya, LCA yang diterapkan dalam konteks pengelolaan limbah menyoroti keuntungan lingkungan yang dapat diperoleh dari pengelolaan limbah dengan cara tertentu [7].

Setelah mengetahui seluruh dampak yang ditimbulkan oleh berbagai kegiatan proses, selanjutnya dilakukan identifikasi proses yang menghasilkan dampak terbesar. Dari identifikasi ini akan dilakukan suatu alternatif untuk mengurangi dampak tersebut dalam rangka perbaikan lingkungan. Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dapat digunakan untuk membantu memilih alternatif terbaik. Analytical Hierarchy Process (AHP) adalah teori komprehensif mengenai pengukuran. Metode AHP adalah sistem pendukung keputusan yang menggunakan perhitungan matriks berpasangan untuk menghasilkan bobot relatif antar kriteria maupun alternatif [8]. AHP dipilih karena dapat menyediakan kerangka kerja yang mudah dibentuk dan dapat dipahami untuk mengatasi masalah yang luas dan tidak teratur. Selain itu, AHP menunjukkan kemampuannya dalam menyelesaikan masalah dengan menggunakan pendekatan sistematis dan menggunakan integrasi deduktif [9].

Dengan metode LCA dan AHP ini diharapkan mampu mengevaluasi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh IPA Kedunguling serta dapat membantu menentukan dasar dalam melakukan perbaikan lingkungan. Tujuan penelitian ini yaitu (1) mengetahui dampak lingkungan pada instalasi pengolahan air kedunguling; (2) menentukan alternatif terbaik untuk mengurangi dampak terhadap lingkungan pada instalasi pengolahan air kedunguling.

II. METODE

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Objek yang dipilih dalam penelitian ini adalah Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedunguling milik PDAM Delta Tirta Sidoarjo yang berlokasi di Desa Kedung Banjar, Kecamatan Candi, Kabupaten Sidoarjo. Sedangkan waktu yang digunakan selama penelitian diperkirakan tujuh bulan dimulai dari bulan Oktober 2023 sampai bulan Mei 2024.

B. Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari observasi, dan wawancara. Data sekunder diperoleh dari studi pustaka meliputi metode dan indikator penilaian serta gambaran umum perusahaan terutama pada PDAM Delta Tirta Sidoarjo.

C. Alur Penelitian

Penelitian diawali dengan mengidentifikasi permasalahan pada perusahaan secara umum. Selanjutnya, studi pendahuluan berupa studi pustaka dan studi lapangan. Studi pustaka bertujuan untuk mendapatkan pengetahuan lebih terkait metode, indikator penilaian, serta gambaran umum PDAM Delta Tirta Sidoarjo. Studi lapangan bertujuan untuk mengetahui secara langsung hasil pengujian kualitas air.

Life Cycle Assessment (LCA)

Life Cycle Assessment (LCA) adalah metode yang dapat mengidentifikasi potensi dampak lingkungan yang berasal dari siklus hidup produk tertentu, serta memungkinkan identifikasi unit pengolahan tertentu yang memberikan kontribusi besar terhadap dampak lingkungan [6]. Pendekatan ini bertujuan untuk memeriksa kemungkinan konsekuensi ekologis yang dihasilkan dari usaha tertentu, dengan memahami sumber daya yang digunakan, meliputi energi dan sumber daya alam [10]. LCA dibagi menjadi 4 tahap, yaitu [11]:

1. Goal and Scope

Pada tahap ini tujuannya adalah untuk menentukan ruang lingkup penelitian dan merumuskan serta menjelaskan tujuan, termasuk mendefinisikan fungsi masing-masing bagian [11]. Terdapat 4 opsi dalam menentukan ruang lingkup yaitu *cradle to grave*, *cradle to gate*, *gate to grave* dan *gate to gate* [12]. Tujuan (*goal*) yang dicapai pada penelitian ini yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan dari IPA Kedunguling, sedangkan ruang lingkup (*scope*) yang dianalisis bersifat *gate to gate* yaitu proses pengolahan air dan limbah produksi.

2. Life Cycle Inventory (LCI)

Fase ini melibatkan perolehan data dan perhitungan input dan output lingkungan yang terkait dengan sistem yang dinilai. Inventarisasi siklus hidup berfungsi sebagai inventarisasi penggunaan sumber daya alam dan konsumsi energi serta emisi terhadap lingkungan dalam konteks sistem yang dipertimbangkan dalam penelitian ini [11]. Data yang akan diinput yaitu data bahan baku, penggunaan energi dan emisi yang dihasilkan, bahan kimia yang digunakan, serta limbah yang dihasilkan.

3. Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tujuan dari langkah ini adalah untuk mengevaluasi tingkat pentingnya dampak lingkungan potensial dalam kaitannya dengan tekanan lingkungan yang diukur pada tingkat LCI [10]. Pada tahap ini sejumlah langkah yang dilakukan yaitu characterization, normalization, weighting, dan single score [4].

Pada langkah characterization metode yang digunakan yaitu Eco-indicator 99 yang menghasilkan 11 indikator dampak [4]. Normalization didapatkan dari membagi hasil characterization dengan nilai normalization [3]. Weighting dilakukan dengan mengalikan hasil normalisasi nilai potensial oleh faktor bobot [4]. Kemudian, konsekuensi lingkungan potensial lengkap yang muncul diubah menjadi single score dengan menunjukkan setiap proses yang memiliki konsekuensi lingkungan [3].

4. Interpretation

Tujuan dari tahap ini adalah untuk memperoleh hasil akhir penelitian berdasarkan hasil analisis inventarisasi dan analisis dampak. Interpretasi hasil ini berfungsi sebagai dasar untuk merekomendasikan skenario perbaikan guna mengurangi dampak lingkungan, sesuai dengan definisi tujuan yang ditetapkan dan ruang lingkup penelitian [13].

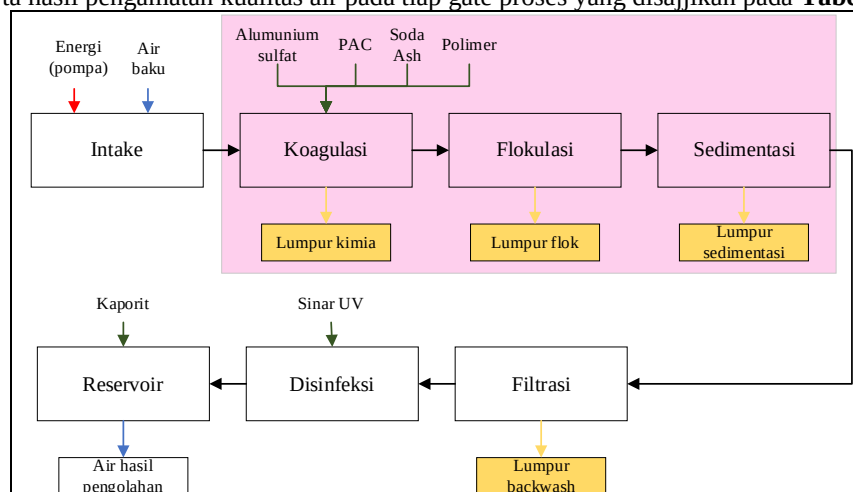
Analytical Hierarchy Process (AHP)

Setelah diketahui indikator dari dampak lingkungan yang dihasilkan IPA Kedunguling dibutuhkan pengambilan keputusan untuk menentukan alternatif terbaik dalam rangka perbaikan lingkungan. Data primer hasil wawancara kepada para praktisi teknik dan operasi yang akan digunakan untuk menentukan alternatif terbaik diolah menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Analytical Hierarchy Process (AHP) awalnya dirumuskan pada tahun 1980 oleh Thomas L. Saaty dalam publikasi berjudul Analytical Hierarchy Process [16]. AHP memiliki kapasitas untuk secara efektif mengatasi masalah multi-tujuan dan multi-kriteria dengan cara membandingkan preferensi elemen individu dalam hierarki. Ide mendasar di balik AHP melibatkan pemanfaatan matriks perbandingan berpasangan untuk mendapatkan bobot komparatif untuk kriteria dan alternatif [8]. Pada dasarnya langkah-langkah dalam metode AHP meliputi [17]: (1) Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan, lalu menyusun hirarki dari permasalahan yang dihadapi. (2) Menentukan prioritas elemen. (3) Mengukur konsistensi. (4) Hitung Consistency Index (CI). (5) Hitung Consistency Ratio (CR). (6) Memeriksa konsistensi hirarki.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Analisa Kualitas Air

Data yang dikumpulkan selama penelitian meliputi siklus pengolahan air yang dapat dilihat pada Gambr 1, hasil pengamatan kualitas air baku selama 3 bulan penelitian, yaitu bulan Oktober hingga Desember 2023 yang disajikan pada Tabel 1. serta hasil pengamatan kualitas air pada tiap gate proses yang disajikan pada Tabel 2.



Gambar 1. Siklus hidup dan batas sistem penelitian pada IPA

Identifikasi dampak lingkungan difokuskan pada gate koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi karena selama proses tersebut menghasilkan limbah yang cukup banyak serta banyak menggunakan energi listrik untuk memompa bahan kimia tambahan maupun untuk proses pengolahan air.

Tabel 1. Kualitas air baku

No	Parameter	Unit	Standar kualitas	Okt-23	Nov-23	Des-23
1	COD	mg/L	10	35	33	31
2	Iron	mg/L	0,3	0,74	0,52	0,97
3	Ammonia	mg/L	0,5	0,05	0,15	0,2

4	Chlorine	mg/L	0,03	0	0	0
5	pH	-	6-9	6,5	7,1	7,3
6	Tds	mg/L	1000	139	125	98
7	Seng	mg/L	0,05	0,02	0,028	0,001
8	Sulfat	mg/L	400	41	49	28
9	TSS	mg/L	50	22,6	22,7	22,1

Standar kualitas pada **Tabel 1.** didasarkan pada PP No. 82 tahun 2001 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dengan klasifikasi mutu air kelas dua. Kelas dua pada mutu air merupakan standar kualitas air yang digunakan untuk sarana dan prasarana. Pada **Tabel 1.** Dapat diketahui bahwa kualitas air baku pada sebagian besar parameter melebihi standar kualitas air.

Tabel 2. Kualitas air pada tiap unit

No	Parameter	Unit	koagulasi		flokulasi		sedimentasi	
			inlet	outlet	inlet	outlet	inlet	outlet
1	Chlorine	mg/L	3,4	2,1	2	1,8	2,4	3
2	Seng	mg/L	2,4	2,7	1,4	1,3	2,2	2,5
3	TDS	mg/L	51,9	56	30,1	25,3	54	57
4	Turbidity	NTU	84,3	121	57	41	98	102
5	COD	mg/L	22,1	16	15,3	14,2	14,5	17,6

Kualitas air yang disajikan pada **Tabel 2.** Merupakan parameter dengan temuan paling banyak. Kualitas air diamati pada saat air masuk ke tiap unit proses (inlet) dan pada saat keluar dari unit proses (outlet), hal tersebut bertujuan untuk membandingkan kualitas air sebelum dan setelah mengalami proses instalasi.

B. Life Cycle Assessment

Life Cycle Assessment terdiri dari 4 tahap, tahap yang pertama yaitu menentukan goal and scope yang bertujuan untuk menentukan tujuan serta ruang lingkup. Pada penelitian ini tujuan (goal) yang akan dicapai yaitu mengidentifikasi dampak lingkungan IPA Kedunguling terutama pada faktor penggunaan bahan kimia dan energi listrik. Air input yang digunakan bukan air baku namun air yang masuk ke proses koagulasi hingga keluar di proses sedimentasi.

Tahap kedua yaitu Life cycle inventory (LCI). Data yang akan diinput yaitu data bahan baku yang diambil inputan pada proses koagulasi, penggunaan energi serta bahan kimia pada proses koagulasi, flokulasi, dan sedimentasi, serta emisi yang dihasilkan. Data yang dihitung yaitu kuantitas air per hari selama bulan Oktober hingga Desember 2023. Tahap LCI akan menampilkan hubungan antar proses dengan dampak yang dihasilkan melalui normalisasi input dengan output produk akhir pada outlet proses sedimentasi.

$$\begin{aligned}
 \text{Normalisasi data input koagulasi} &= \frac{\text{Kuantitas air proses Koagulasi}}{\text{Produk akhir air pada proses sedimentasi}} \\
 &= \frac{650.587 \text{ m}^3}{610.028 \text{ m}^3} \\
 &= 1,07 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Normalisasi data input soda ash} &= \frac{\text{Kuantitas soda ash}}{\text{Produk akhir air pada proses sedimentasi}} \\
 &= \frac{4700 \text{ kg}}{610.028 \text{ m}^3} \\
 &= 0,008 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Normalisasi data energi listrik} &= \frac{\text{Energi listrik yang digunakan pada pompa soda ash}}{\text{Produk akhir air pada proses sedimentasi}} \\
 &= \frac{186 \text{ kWh}}{610.028 \text{ m}^3} \\
 &= 0,0003 \text{ kWh/m}^3
 \end{aligned}$$

Tahap ketiga yaitu Life cycle impact assessment (LCIA). Tahap ini merupakan tahap identifikasi dampak ke lingkungan selama proses LCI. Penelitian ini mengidentifikasi global warming potential (GWP) dan Eutrofikasi. Pada GWP menggunakan faktor perhitungan akumulasi dari CO₂, CH₄, dan N₂O.

Global Warming Potential (GWP) menggunakan hubungan antara penggunaan listrik dan CO₂, CH₄, serta N₂O. Database didapatkan dari CML-1A yang disajikan pada **Tabel 3.**

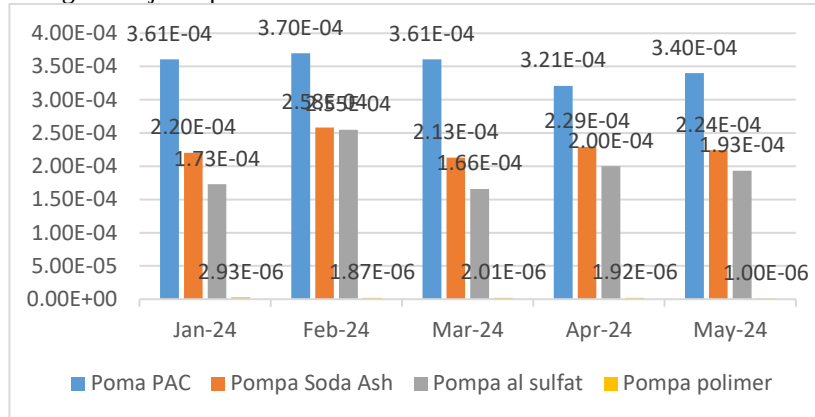
Tabel 3. Characteristic Factors CML-1A

Impact category	Parameter	Faktor Emisi	Satuan	CF	Satuan
-----------------	-----------	--------------	--------	----	--------

Global warming PLN	CO2	0,77	kgCO2/kWh	1	Kg CO2 eq
	CH4	1,59E-05	kgCH4/kWh	28	Kg CO2 eq
	N2O	8,77E-06	kgN2O/kWh	265	Kg CO2 eq

Sumber: [18]

Berikut merupakan akumulasi perhiungan GWP PLN tiap bulan, pada periode pengamatan dan penelitian Januari-Mei 2024. Hasil perhitungan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. GWP berdasarkan penggunaan listrik tiap bulan

Penggunaan energi listrik pada penambahan POC memiliki kontribusi paling tinggi pada GWP karena memerlukan energi listrik yang cukup besar untuk inject dan mixing yang cukup lama. Penggunaan polimer memiliki dampak paling rendah karena polimer merupakan bahan kimia tambahan yang tidak memerlukan energi listrik cukup banyak dalam injeksi. Selain itu, faktor emisi (EF) GWP berdasarkan tiap bahan kimia dihitung menggunakan rumus berikut dengan akumulasi perhitungan disajikan pada **Gambar 3**.

$$P_{CO_2} = (C_{ci} \times Q_{flow} \times 10^3 \text{ m}^3/\text{L}^{-1}) \times EF$$

Sumber: [18]

Keterangan:

C = total bahan kimia yang digunakan (kg/m³)

Qflow = air yang masuk ke proses (L/d)

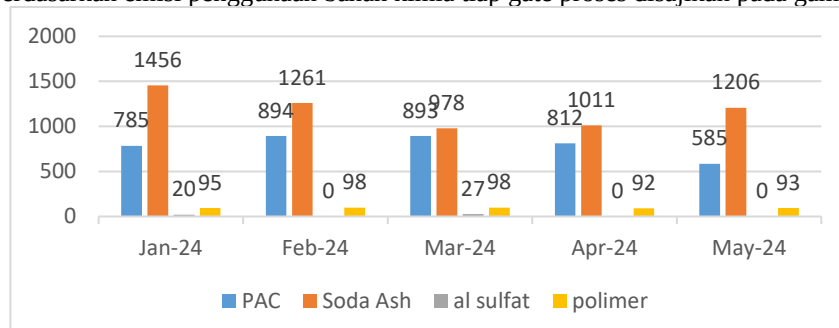
EF = emission faktor

Faktor emisi dari bahan kimia yang berkontribusi pada GWP adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Faktor Emisi Bahan Kimia

Bahan kimia	EF	Satuan	Sumber
Aluminium sulfat	0,395	Kg CO2-eq/g Alum sulfat	[19]
PAC	0,131	Kg CO2-eq/g PAC	[19]
Soda Ash	0,059	Kg CO2-eq/g soda ash	[20]
Polymer	0,015	Kg CO2-eq/g polimer	[21]

Penggunaan aluminium sulfat memiliki kontribusi terhadap global warming tertinggi dengan EF 0,395. PAC dengan faktor emmisi kedua merupakan bahan paling penting untuk kualitas air yang lebih baik. Berikut merupakan akumulasi GWP berdasarkan emisi penggunaan bahan kimia tiap gate proses disajikan pada gambar 2.



Gambar 3. GWP berdasarkan penggunaan bahan kimia

Kualitas air yang dimonitor didasarkan pada kandungan COD dan BOD berdasarkan standar IPA Kedunguling tiap gate proses pengolahan air. Emisi faktor pada COD dan BOD disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Faktor emisi parameter BOD dan COD

Material	Faktor Emisi	Satuan	Sumber
----------	--------------	--------	--------

BOD	0,48	Kg CH ₄ /kg BOD	IPCC, 2006
COD	0,25	Kg CH ₄ /kg COD	IPCC, 2006

Tabel 6. Hasil GWP berdasarkan kandungan COD dan BOD

	COD (kg CO ₂ -eq)	BOD (kg CO ₂ -eq)	Total (kg CO ₂ -eq)
Koagulasi	4277,5	2241,5	6519
Flokulasi	15374,2	55869,9	71244,1
Sedimentasi	2151,9	783,46	2935,36

Berdasarkan hasil perhitungan, proses flokulasi berkontribusi paling besar pada GWP dengan total emisi sebesar 71244,1 kg CO₂-eq. Kalkulasi hasil GWP berdasarkan energi listrik dan penggunaan bahan kimia disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Dampak GWP berdasarkan tiap gate proses

	Total
Koagulasi	5013 kg CO ₂ -eq
Flokulasi	71244,1 kg CO ₂ -eq
Sedimentasi	2935,36 kg CO ₂ -eq
TOTAL	79192,46 kg CO ₂ -eq

Proses flokulasi memberikan dampak global warming paling besar berdasarkan energi listrik yang digunakan maupaun bahan kimia yang dihasilkan.

Eutrofikasi

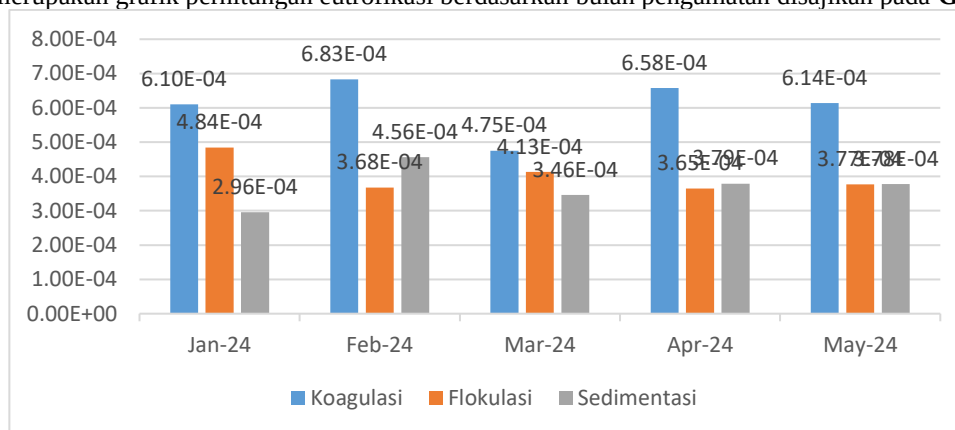
Limbah yang dihasilkan selama proses pengolahan air salah satunya adalah lumpur. Dalam proses pengolahan air, lumpur merupakan limbah yang berbahaya karena mengandung bahan kimia sisa dari pemurnian air baku. Dampak yang dianalisa pada eutrofikasi adalah COD pada lumpur. Faktor eutrofikasi COD disajikan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Faktor eutrofikasi COD

Dampak	Parameter	Faktor Eutrofikasi	Satuan
Eutrofikasi	COD (Chemical Oxygen Demand)	0,022	Kg PO ₄ eq

Sumber: [19]

Berikut merupakan grafik perhitungan eutrofikasi berdasarkan bulan pengamatan disajikan pada **Gambar 3**.

**Gambar 3.** Eutrofikasi berdasarkan COD

Berdasarkan perhitungan eutrofikasi parameter COD, pada proses koagulasi memberikan dampak terbesar selama 5 bulan pengamatan. Hal tersebut mengindikasikan bahwa limbah lumpur belum dikelola dengan baik. Berikut merupakan akumulasi eutrofikasi lumpur COD berdasarkan gate proses disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9. Hasil eutrofikasi berdasarkan parameter COD

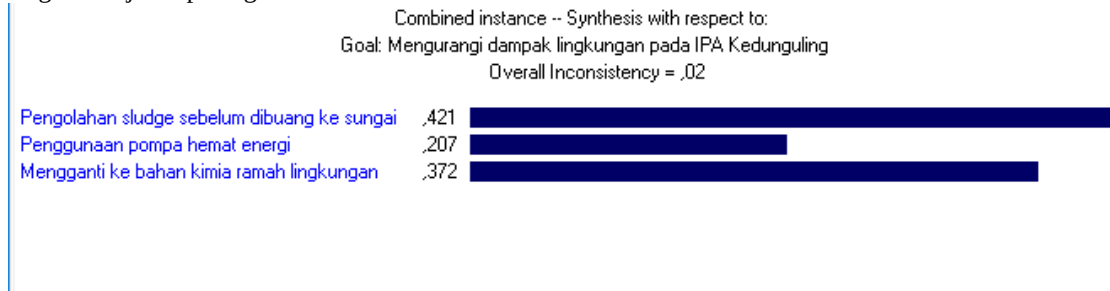
Gate proses	Total (kg CO ₂ -eq)
Koagulasi	3,04E-03
Flokulasi	2,01E-03
Sedimentasi	1,86E-03

Tahap keempat pada LCA yaitu data interpretation. Interpretasi data menghubungkan dampak yang telah dianalisis pada proses LCIA dengan tujuan dan ruang lingkupnya. Proses flokulasi memberikan dampak lingkungan paling besar karena banyaknya flok yang dihasilkan. Flok tersebut masih mengandung bahan kimia sisa proses pengolahan air

serta energi listrik yang digunakan cukup tinggi. Proses flokulasi berdampak pada global warming tertinggi dengan emisi sebesar 71244,1 kg CO₂-eq. Berdasarkan eutrofikasi, proses sedimentasi memberikan dampak terbesar yaitu 1,86E-03 kg CO₂-eq. Hal tersebut dikarenakan limbah lumpur akhir proses sedimentasi belum diolah secara maksimal sebelum dibuang ke sungai.

C. Penentuan Alternatif

Penentuan alternatif untuk meminimalisasi dampak lingkungan pada instalasi pengolahan air diberikan menggunakan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Brainstorming pemberian alternatif dilakukan bersama 2 expert, yaitu kepala laboratorium dan kepala teknisi proses. Alternatif yang diberikan yaitu pengolahan sludge sebelum dibuang ke sungai, penggunaan pompa hemat energi, dan mengganti ke bahan kimia ramah lingkungan. Tiga alternatif tersebut dilakukan pembobotan berdasarkan skala terpenting antar alternatif oleh expert tersebut. Hasil pembobotan selanjutnya diranking menggunakan software expert choice untuk mengetahui alternatif terbaik. Hasil perankingan disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Rank alternatif mengurangi dampak lingkungan pada instalasi pengolahan air

Berdasarkan hasil perankingan alternatif, diketahui bahwa pengolahan sludge sebelum dibuang ke sungai merupakan alternatif terbaik dengan persentase sebesar 42%. Alternatif terbaik kedua yaitu mengganti ke bahan kimia yang ramah lingkungan dengan persentase sebesar 37%. Pada rank ketiga dengan persentase 21% yaitu penggunaan pompa hemat energi. Hasil perankingan tersebut menunjukkan bahwa instalasi pengolahan air (IPA) kedunguling perlu memprioritaskan pengolahan sludge (lumpur) sebelum dibuang ke sungai untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan saat proses pengolahan air.

IV. SIMPULAN

Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedunguling memberikan dampak pada lingkungan. Berdasarkan analisa menggunakan LCA, diketahui proses flokulasi pada pengolahan air memberikan kontribusi terbesar pada global warming potential (GWP) dengan emisi sebesar 71244,1 kg CO₂-eq. Hal tersebut dikarenakan pada proses flokulasi menghasilkan lumpur dengan kandungan bahan kimia yang masih banyak dan membutuhkan energi listrik yang besar. Berdasarkan eutrofikasi, proses sedimentasi memberikan dampak paling besar yaitu sebesar 1,86E-03 kg CO₂-eq. Hal tersebut dikarenakan lumpur (sludge) yang dibuang ke sungai belum diolah secara maksimal.

Alternatif yang diberikan berdasarkan dampak lingkungan hasil analisa menggunakan LCA diranking menggunakan software expert choice. Hasil perankingan didapatkan paling tinggi yaitu pengolahan sludge sebelum dibuang ke sungai sebesar 42%. IPA Kedunguling perlu berfokus pada alternatif pengolahan sludge sebelum dibuang ke sungai agar kandungan bahan kimia yang masih tertinggal di lumpur dapat dihilangkan serta dapat mengurangi emisi GWP serta eutrofikasi yang disumbangkan pada proses pengolahan air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur kepada Allah SWT karena rahmat dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik. Pada kesempatan ini peneliti ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Universitas Muhammadiyah Sidoarjo
2. Pimpinan Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kedunguling yang telah memberikan izin dalam melakukan penelitian

Dengan ini peneliti berharap semoga artikel ini dapat bermanfaat untuk pembaca dan menjadi masukan serta motivasi untuk lembaga pendidikan serta penelitian selanjutnya.

REFERENSI

- [1] M. Y. I. Haikal, A. H. Andriawan, and R. S. Widagdo, "Analisa Harmonisasi Pada Water Treatment Plant di PDAM Delta Tirta Sidoarjo IPA Kedunguling," *Pros. Senakama*, vol. 1, no. 1, pp. 493–500, 2022.
- [2] A. R. Al Khakim and A. Purnomo, "Kajian Efisiensi Proses dan Operasi Unit Filter pada Instalasi IPA Paket

- Kedunguling PDAM Kabupaten Sidoarjo,” *J. Tek. POMITS*, vol. 3, no. 1, pp. 10–15, 2014.
- [3] G. A. Nurbaiti, T. A. Rachmanto, and A. U. Farahdiba, “Life Cycle Assessment (Lca) Sebagai Metode Kajian Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Bersih Di Instalasi Pengolahan Air (Ipa) Siwalanpanji,” *EnviroUS*, vol. 2, no. 2, pp. 21–27, 2022, doi: 10.33005/enviroUS.v2i2.102.
 - [4] D. Y. Irawati and D. Andrian, “Analisa Dampak Lingkungan Pada Instalasi Pengolahan Air Minum (IPAM) Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA),” *J. Tek. Ind.*, vol. 19, no. 2, pp. 166–177, 2018, doi:10.22219/jtiumm.vol19.no2.166-177.
 - [5] F. P. E. Riyanty and H. Indarjanto, “Kajian Dampak Proses Pengolahan Air di IPA Siwalanpanji Terhadap Lingkungan dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA),” *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 2, pp. 86–90, 2015, [Online]. Available: <https://ejurnal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/11441%0Ahttps://ejurnal.its.ac.id>
 - [6] G. A. Nurbaiti, T. A. Rachmanto, and A. U. Farahdiba, “Implementasi Life Cycle Assessment ‘Gate-to-Gate’ Pada Proses Pengolahan Air Bersih,” *ESEC Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 1, pp. 33–36, 2021.
 - [7] R. A. Ula, A. Prasetya, and I. Haryanto, “Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur,” *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 22, no. 2, pp. 147–161, 2021, doi: 10.29122/jtl.v22i2.4690.
 - [8] A. S. R. Sinaga and J. Purba, “Penentuan Karyawan Lembur Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (Ahp),” *J. Inkofar*, vol. 1, no. 2, pp. 40–50, 2019, doi: 10.46846/jurnalinkofar.v1i2.67.
 - [9] A. E. Munthafa and H. Mubarak, “Penerapan Metode Analytical Hierarchy Process Dalam Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Mahasiswa Berprestasi,” *J. Siliwangi*, vol. 3, no. 2, pp. 192–201, 2017.
 - [10] A. D. Astuti, “Analisis Potensi Dampak Lingkungan Dari Budidaya Tebu Menggunakan Pendekatan Life Cycle Assessment (Lca),” *J. Litbang Media Inf. Penelitian, Pengemb. dan IPTEK*, vol. 15, no. 1, pp. 51–64, 2019, doi: 10.33658/jl.v15i1.127.
 - [11] F. Hidayat, “Kajian Dampak Proses Produksi BBM Di PT X Terhadap Lingkungan Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (LCA),” *Environ. Sci. Eng. Conf.*, vol. 4, no. 1, pp. 135–140, 2023, doi: 10.1139/191-019.
 - [12] M. E. A. Bagaswara and Y. Hadi, “Analisis dan Rekayasa Proses Produksi Untuk Mengendalikan Environmental Impact Menggunakan Metode LCA,” *J. METRIS*, vol. 18, no. 2, pp. 95–104, 2017.
 - [13] S. A. Zuhria, N. S. Indrasti, and M. Yani, “Kajian Dampak Lingkungan Produk tepung Agar Menggunakan Metode Life Cycle Assessment(LCA),” *J. Teknol. Ind. Pertanian*, vol. 31, no. 3, pp. 343–355, 2021, [Online]. Available: <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jurnalitin>
 - [14] Y. Arba, I. Syahtaria, and S. Thamrin, “Journal Review: Perbandingan Pemodelan Perangkat Lunak Life Cycle Assesstment (Lca) Untuk Teknologi Energi,” *Citiz. J. Ilm. Multidisiplin Indones.*, vol. 2, no. 2, pp. 300–309, 2022, doi: 10.53866/jimi.v2i2.75.
 - [15] D. S. Giandadewi, P. Andarani, and W. D. Nugraha, “Potensi Dampak Lingkungan Dalam Sistem Produksi Minyak Kelapa Sawit Mentah (Crude Palm Oil-CPO) Dengan Menggunakan Metode Life Cycle Assessment (Eco-Indikator 99),” *J. Tek. Lingkung.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, 2017.
 - [16] H. A. Septilia and Styawati, “Sistem Pendukung Keputusan Pemberian Dana Bantuan Menggunakan Metode Ahp,” *J. Teknol. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 34–41, 2020, doi: 10.33365/jtsi.v1i2.369.
 - [17] Z. Azhar and M. Handayani, “Analisis Faktor Prioritas Dalam Pemilihan Perumahan Kpr Menggunakan Metode Ahp,” *J. Manaj. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 1, no. 2, pp. 19–22, 2018, doi: 10.36595/misi.v1i2.38.
 - [18] I.B Kartikasari and R.I.B. Santoso, "IMPACT OF DRINKING WATER TREATMENT PROCESS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) TO MINIMIZE ENVIRONMENTAL IMPACT RISK," *Journal of Social Research*, vol. 2, no. 9, pp. 3218-3230, 2023.
 - [19] D. Kyung, D. Kim., N. Park, and W. Lee, "Estimation of CO2 emission from water treatment plant - Model development and application," *Journal of Environmental Management*, vol. 131, pp. 74-81, 2013.
 - [20] Winnipeg.ca, "Emission factors in kg CO2-equivalent per unit." https://legacy.winnipeg.ca/finance/findata/matmgt/documents/2012/682-012/6822012_Appendix_H-WSTP_South_End_Plant_Process_Selection_Report/Appendix%2017.pdf
 - [21] C. Chai, D. Zhang, Y. Yu, Y. Feng, and M.S. Wong, "Carbon footprint analyses of mainstream wastewater treatment technologies under different sludge treatment scenarios in China," *Water (Switzerland)*, vol. 7, no. 3, pp. 918-938, 2015.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.