



## Life Cycle Assessment (LCA) Proses Pengolahan Air Limbah Domestik di Perusahaan Galangan Kapal

Safitri Wahyu Pratiwi<sup>1</sup>, Syadzadhiya Qotrunada Zakiyayasin Nisa<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : [syadzadhiya.tl@upnjatim.ac.id](mailto:syadzadhiya.tl@upnjatim.ac.id)

**Diterima:** 16- 10- 2023  
**Disetujui:** 24- 10- 2023  
**Diterbitkan:** 31- 10- 2023

### Kata Kunci:

Analisis Dampak Lingkungan, Instalasi Pengolahan Air Limbah, *Life Cycle Assessment* (LCA)

### ABSTRAK

Salah satu perusahaan galangan kapal di Kota Surabaya menghasilkan debit air limbah domestik rata-rata sebesar 0,125 m<sup>3</sup> perharinya. Saat ini, perusahaan terkait memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) untuk disesuaikan parameter baku mutunya sebelum dibuang ke badan air. Emisi gas rumah kaca dapat berasal dari air limbah yang dihasilkan selama proses pengolahan atau dari peralatan penunjang operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan oleh setiap tahapan dalam pengolahan IPAL dengan menerapkan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA). Analisis data dilakukan dengan menggunakan aplikasi OpenLCA metode IMPACT 2002+. Aspek yang dievaluasi meliputi *Global Warming*, *Respiratory Inorganics*, dan *Ozone Layer Depletion*. Hasil analisis menunjukkan bahwa dampak *global warming* terbesar dihasilkan dari proses di tangki anaerob-aerob dengan jumlah 3,60 x 10<sup>-4</sup> kg CO<sub>2</sub>-eq. Dampak lingkungan *Respiratory Inorganics* terbesar dari proses anaerob-aerob yaitu sebesar 3,02 x 10<sup>2</sup> kg PM<sub>2.5</sub> eq. Dampak lingkungan *Ozone Layer Depletion* terbesar dihasilkan dari proses bak equalisasi yaitu sebesar 4,62 x 10<sup>-2</sup> kg CFC-11 eq. Beberapa saran perbaikan yang dapat dipertimbangkan mencakup proses pengolahan gas metana melalui digesti anaerobik, pemantauan unit secara berkala, dan pembuatan lahan terbuka hijau.

**Received:** 16- 10- 2023  
**Accepted:** 24- 10- 2023  
**Published:** 31- 10- 2023

### Keywords:

Environmental Impact Analysis, Wastewater Treatment Plant, *Life Cycle Assessment* (LCA)

### ABSTRACT

One of the shipbuilding companies in the city of Surabaya produces an average domestic wastewater discharge of 0.125 m<sup>3</sup> per day. Currently, the relevant company has a Waste Water Treatment Plant (WWTP) to adjust the quality standard parameters before being discharged into water bodies. Wastewater processing has the potential to produce greenhouse gas emissions, whether obtained from the processing process or from operational support equipment. The aim of this research is to analyze the environmental impacts resulting from WWTP process and using the method *Life Cycle Assessment* (LCA). The data analysis process uses software OpenLCA with the IMPACT 2002+ method. The impacts analyzed are: *Global Warming*, *Respiratory Inorganics*, and *Ozone Layer Depletion*. The results show that impact *globalwarming* with the largest score is produced from processes in anaerobic-aerobic tanks of 3.60 x 10<sup>-4</sup> kg of CO<sub>2</sub>-eq. Environmental impact *Respiratory Inorganics* with the largest score is produced from processes in anaerobic-aerobic of 3.02 x 10<sup>2</sup> kg PM<sub>2.5</sub> eq. Environmental impact *Ozone Layer Depletion* Inorganics with the largest score produced from the equalization process, namely 4.62 x 10<sup>-2</sup> kg CFC-11 eq. Recommendations for improvements that can be made include processing methane gas with anaerobic digestion, regular monitoring of the unit, and creating green open areas.

## 1. PENDAHULUAN

Industri galangan kapal adalah sektor manufaktur yang fokus pada perawatan, pembuatan, serta perbaikan kapal (Sari *et al.*, 2023). Salah satu perusahaan di Surabaya yang bergerak di kegiatan galangan kapal menghasilkan air limbah domestik rata-rata sebesar 0,125 m<sup>3</sup> perharinya. Pada kawasan industri diwajibkan memenuhi kebutuhan industri dan lingkungannya, salah satunya pengolahan air limbah terpadu yang diatur

terkait sarana dan prasarana pada Undang-Undang Nomor 3 Tahun 2014.

Pengoperasian pengolahan air limbah pada perusahaan galangan kapal telah dilakukan sejak tahun 2020. Instalasi pengolahan air limbah pada perusahaan galangan kapal mengolah air buangan dari kegiatan domestik yang berada di kawasan perusahaan galangan kapal. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan parameter baku mutunya sebelum disalurkan ke badan air.

Air limbah yang telah diproses memiliki potensi untuk menghasilkan emisi gas rumah kaca, baik melalui proses pengolahan itu sendiri maupun melalui peralatan penunjang operasional. Proses pengolahan lumpur anaerobik dan pembakaran biogas melepaskan emisi berupa gas metana (CH<sub>4</sub>) dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Sumber emisi ini bersifat biologis dan dapat timbul selama operasi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) (Parravicini, 2016). Konsep produk ramah lingkungan perlu dilakukan dengan tujuan mengurangi dampak lingkungan untuk meningkatkan kualitas hidup. Dalam kehidupan sehari-hari, perlu memahami mengenai keberlanjutan produk sehingga dapat memanfaatkan secara efisien sumber daya yang ada sepanjang siklus hidup. Tingkat keberlanjutan produk dapat dinilai dengan salah satu metode, yaitu dengan metode *Life Cycle Assessment* (LCA).

*Life Cycle Assessment* (LCA) merupakan salah satu cara dalam mengukur dampak dari lingkungan yang ditimbulkan oleh suatu aktivitas dengan mengumpulkan data *input* dan *output*, produk sekunder dari proses produksi, dan sumber daya yang digunakan. Pendekatan yang diterapkan dalam *Life Cycle Assessment* (LCA) melibatkan pengidentifikasian, penilaian, mengevaluasi, perhitungan banyaknya konsumsi energi yang digunakan, emisi yang dihasilkan, dan faktor-faktor lainnya yang terkait selama seluruh siklus (R.K. Darman, 2020). Perubahan iklim global dipresepikan akibat faktor emisi gas rumah kaca (GRK). *Life Cycle Assessment* (LCA) diterapkan untuk menentukan sumber dan besaran emisi gas rumah kaca pada setiap tahap siklus hidup produk (Wahyudi, 2017).

Dari penjelasan di atas, penggunaan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) diperlukan dengan tujuan untuk menganalisis dampak lingkungan guna mengukur sejauh mana akibat yang dihasilkan oleh siklus hidup instalasi pengolahan air tersebut. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi serta memberikan saran perbaikan yang muncul akibat kegiatan proses pengolahan di instalasi air limbah yang digunakan oleh perusahaan galangan kapal.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengumpulkan data dari sebuah Industri Galangan Kapal yang terletak di Surabaya. Proses pengumpulan data dilakukan selama enam hari mulai dari 25-30 September Tahun 2023. Dalam penelitian ini menganalisis data mencakup bobot dari pengoahan air limbah domestik, konsumsi energi, penggunaan bahan kimia, dan bahan bakar yang digunakan selama operasional. Data ini berasal dari sumber sekunder sesuai dengan pedoman ISO 14040:2006. Penelitian dilakukan dengan mengevaluasi dampak yang timbul akibat pengolahan air limbah domestik perusahaan galangan kapal, serta menggunakan pendekatan *Life Cycle Assessment* (LCA).

Penelitian ini mengkaji dampak lingkungan yang dihasilkan oleh air limbah domestik yang diolah perusahaan galangan kapal dengan menerapkan metode *Life Cycle Assessment* (LCA). Penelitian mengolah data berupa beban pengolahan air limbah domestik, konsumsi penggunaan listrik, penggunaan bahan kimia, dan bahan bakar dalam mengoperasikan IPAL. Pemrosesan data didukung oleh perangkat lunak OpenLCA 1.11.0 dengan metode IMPACT

2002+. Dikutip dari (Riyanti & Indrajanto, 2015), metode IMPACT 2002+ dipilih karena merupakan metode paling baru yang mengkombinasikan metode-metode sebelumnya yaitu IMPACT 2002, Eco-Indicator 99, CML, dan IPCC. Terdapat 14 kategori dampak lingkungan dari Metode IMPACT 2002+, tetapi penelitian ini terfokus hanya pada tiga dampak utama yang menjadi penyebab pencemaran udara yaitu dampak *Respiratory Inorganics*, dampak *Global Warming*, dan dampak *Ozone Layer Depletion*. Ketiga dampak ini dipilih karena dampak tersebut memiliki keterkaitan dengan topik yang akan diteliti..

### Variabel Penelitian

Penelitian ini terbagi menjadi dua variabel sebagai berikut:

1. Variabel Independen, meliputi:
  - a. Hasil analisis dan debit aliran dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Perusahaan Galangan Kapal.
  - b. Kebutuhan sumber daya (meliputi air, listrik).
  - c. Penggunaan bahan kimia selama proses pengolahan air limbah.
2. Variabel Dependen, meliputi:
  - a. Penelitian menggunakan metode yang sesuai dengan kondisi yang ada di lokasi instalasi air limbah dan dampak yang dihasilkan adalah *Ozone Layer Depletion*, *Respiratory Inorganics*, dan *Global Warming*.
  - b. Untuk mengurangi dampak yang ditimbulkan, rekomendasi perbaikan yang dapat dijadikan alternatif sebagai berikut:
    1. Alternatif 1: Efisiensi energi dengan mengidentifikasi peluang untuk mengurangi konsumsi energi selama operasi IPAL.
    2. Alternatif 2: Efisiensi penggunaan bahan kimia selama proses pengolahan air limbah.
    3. Alternatif 3: Optimalisasi desain dengan membantu perbaikan desain IPAL yang berkelanjutan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

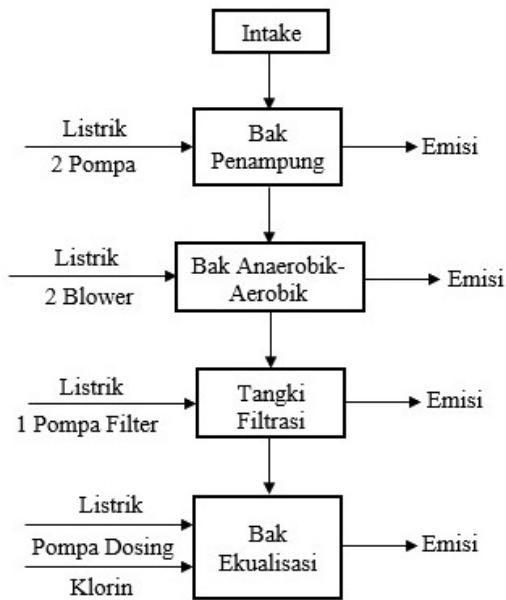
### 3.1 Pengolahan Data *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan Software OpenLCA

Analisis LCA atau *Life Cycle Assessment* digunakan dalam penelitian ini dengan beberapa langkah yang dilakukan. Hal pertama yang dilakukan adalah menentukan ruang lingkup dan tujuan (*Goal and Scope*), dilanjutkan dengan melakukan identifikasi, pengumpulan, dan perhitungan data masuk yaitu material dan energi serta data hasil pengolahan sebagai *output* (emisi, produk, dan produk sekunder dari suatu proses) dalam tahap Siklus Hidup Inventori (*Life Cycle Inventory*). Selanjutnya, penentuan dampak lingkungan dari proses pengolahan (*Life Cycle Impact Assessment*) yang terdiri dari klasifikasi, karakterisasi, interpretasi, dan kesimpulan. Hasil dari interpretasi data akan mencerminkan dampak proses terhadap upaya perbaikan berkelanjutan

### 3.2 Penentuan *Goal dan Scope*

Penelitian yang dilakukan bersifat *gate to gate* yaitu menganalisis hanya dari kegiatan terdekat dengan proses

pengolahan air limbah dihasilkan kemudian dilanjutkan ke proses pengolahan meliputi bak penampung, bak anaerob-aerob, bak filtrasi, dan bak Ekualisasi dan selanjutnya air hasil pengolahan akan disalurkan menuju badan air. IPAL atau Instalasi Pengolahan Air Limbah di salah satu Industri Galangan Kapal di Kota Surabaya mengolah air limbah dari kegiatan domestik (kamar mandi). Industri galangan kapal melakukan proses pengolahan air limbah dengan menggunakan satu intake, satu unit bak anaerob-aerob, satu tangki filtrasi, dan satu bak ekualisasi. Alur proses produksi IPAL yang akan menjadi fokus penelitian dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



**Gambar 1** Alur Proses IPAL Industri Galangan Kapal (Sumber: Hasil Analisis, 2023)

Konsumsi energi pada setiap unit proses IPAL berbeda karena menyesuaikan dengan kebutuhannya seperti penggunaan pompa air, blower, dan pompa dosing yang tidak terdapat setiap unit.

**3.3 Tahapan Life Cycle Inventory (LCI)**

Pada tahapan ini, data akan dikumpulkan dan dianalisis menggunakan aplikasi untuk mengevaluasi dampak lingkungan yang timbul selama proses pengolahan air limbah. Nilai penggunaan listrik diperoleh dari hasil observasi di industri terkait, khususnya dalam penggunaan listrik oleh pompa, serta perhitungan emisi CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, dan CO<sub>2</sub>. Setelah dilakukan pengumpulan data, nilai dampak lingkungan untuk setiap unit proses pengolahan air limbah di Industri Galangan Kapal akan diidentifikasi, termasuk besarnya nilai dampak yang disesuaikan dengan kategori dampak lingkungan.

**Tabel 1** Inventarisasi Data Input dan Output IPAL

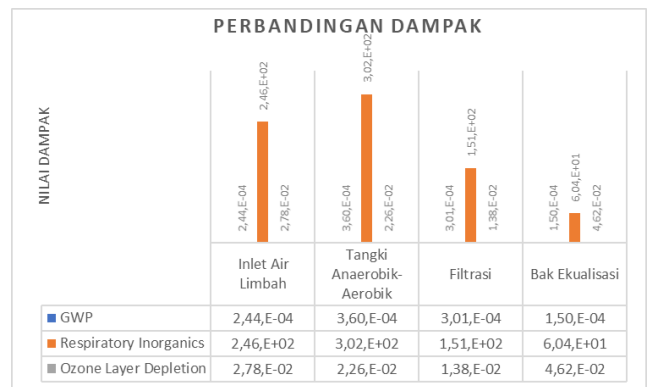
Proses	Input	Jumlah	Satuan	Output
Inlet limbah	air Air limbah	0.125	m <sup>3</sup>	Air limbah

Proses	Input	Jumlah	Satuan	Output
	Listrik	0.4	kWh	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Tangki Anaerob-Aerob	Air Limbah	0.125	m <sup>3</sup>	Air limbah
	Listrik	0.25	kWh	Emisi, Biogas
Filtrasi	Air limbah	0.125	m <sup>3</sup>	Air limbah
	Listrik	0.15	kWh	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Bak Ekualisasi	Air limbah	0.125	m <sup>3</sup>	Air kelas II
	Listrik	0.1	kWh	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
	Klorin	0.5	kg	

(Sumber: Hasil Analisis, 2023)

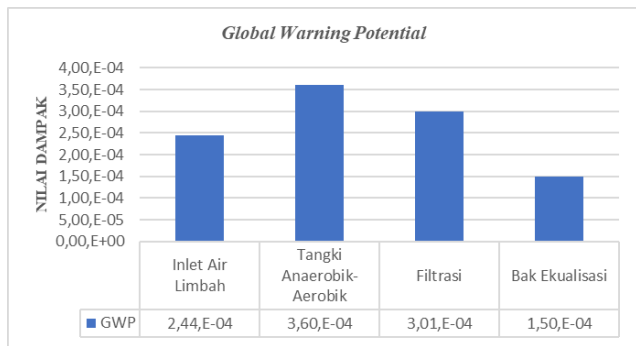
**3.4 Life Cycle Impact Assessment**

LCIA atau *Life Cycle Impact Assessment* adalah salah satu langkah dalam analisis LCA dengan tujuan mengelompokkan dan menilai dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh berbagai proses pengolahan berdasarkan data inventori tahap awal. Kriteria dampak yang dianalisis dalam penelitian meliputi *Respiratory Inorganics*, *Ozone Layer Depletion*, dan *Global Warming*. Selanjutnya, nilai normalisasi dihitung untuk setiap proses dan dikalikan dengan faktor pembobotan yang diperoleh dari database untuk menyetarakan nilai pada setiap dampak. Berikut adalah perbandingan dampak yang dihasilkan oleh masing-masing kategori dampak.



**Gambar 2** Grafik Hasil Perbandingan Dampak Tiap Proses

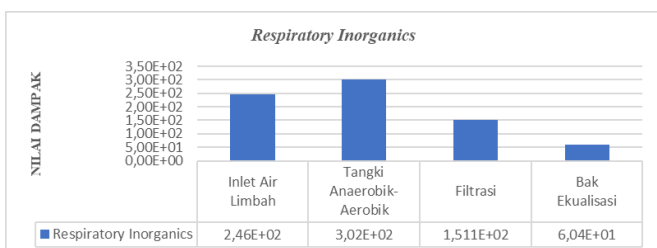
### 3.3.1. Dampak Global Warming



**Gambar 3** Perbandingan Dampak *Global Warming* Tiap Proses

*Global warming potential* (GWP) adalah nilai yang mengindikasikan potensi pemanasan global yang berasal dari emisi suatu sumber tertentu selama periode waktu tertentu (Nurunissa & Aziz, 2020). Dari hasil analisis, didapatkan nilai GWP dari proses inlet air limbah sebesar  $2,44 \times 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq, proses di tangki anaerob-aerobik sebesar  $3,60 \times 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq, proses filtrasi sebesar  $3,01 \times 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq, dan proses di bak ekualisasi sebesar  $1,50 \times 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq. Dapat dilihat dari hasil grafik bahwa proses di tangki anaerob-aerob memiliki nilai *global warming* terbesar yaitu  $3,60 \times 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq. Hal ini dikarenakan dalam proses pengolahan di tangki tersebut menghasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dari proses pengolahan secara anaerob. Metana merupakan salah satu penyumbang dampak pemanasan global, dimana gas-gas yang paling signifikan menyumbang terhadap gejala pemanasan global adalah CH<sub>4</sub> dan CO<sub>2</sub> (Sucipto *et al*, 2023). Proses pengolahan di tangki anaerob-aerob juga memerlukan penggunaan listrik. Industri energi listrik merupakan salah satu sektor yang berkontribusi emisi gas rumah kaca di atmosfer dengan emisi karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai faktor utama yang memicu pemanasan global (Febrina *et al*, 2021). Hal ini disebabkan oleh konsentrasi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari penggunaan pompa listrik selama proses pengolahan.

### 3.3.2. Dampak Respiratory Inorganics



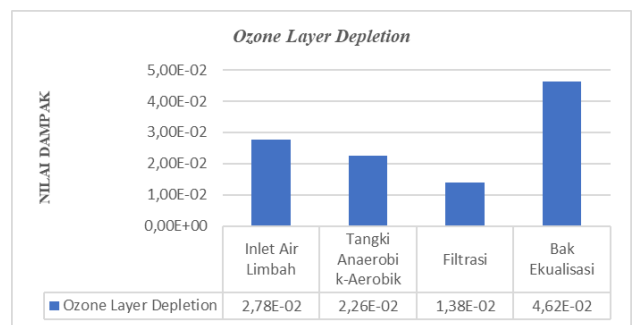
**Gambar 4** Perbandingan Dampak *Respiratory Inorganics* Tiap Proses

Hasil grafik di atas menunjukkan bahwa proses anaerob-aerob memiliki dampak paling tinggi yaitu sebesar  $3,02 \times 10^2$  kg PM<sub>2.5</sub> eq. Dampak paling kecil dihasilkan oleh bak ekualisasi yaitu sebesar  $6,04 \times 10^1$  kg PM<sub>2.5</sub> eq. *Respiratory inorganics* merujuk pada emisi zat kimia anorganik yang dapat memengaruhi sistem pernapasan

manusia. Jenis polutan *Respiratory inorganics* mencakup polutan seperti partikulat (PM), oksida sulfur (Sox), oksida nitrogen (Nox), serta gas lain yang dapat berkontribusi terhadap masalah kesehatan pernapasan manusia dan pencemaran udara (Pré, 2016).

Penggunaan listrik yang berlebihan menjadi penyebab utama zat organik, terutama proses produksi listrik di negara Indonesia masih bergantung pada bahan bakar dari jenis batu bara. Pembakaran batu bara mengakibatkan pembuangan debu yang signifikan. Terpaparnya zat anorganik saat menghirup udara dapat digolongkan sebagai efek pada sistem pernapasan yang diakibatkan oleh dampak lingkungan (Yekti & Mirwan, 2021).

### 3.3.3. Dampak Ozone Layer Depletion



**Gambar 5** Perbandingan Dampak *Ozone Layer Depletion* Tiap Proses

Hasil grafik di atas menunjukkan bahwa proses di bak ekualisasi memiliki dampak *ozone layer depletion* terbesar yaitu  $4,62 \times 10^{-2}$  kg CFC-11 eq. Sedangkan nilai terkecil dihasilkan oleh proses filtrasi yaitu  $1,38 \times 10^{-2}$  kg CFC-11 eq. Proses di bak ekualisasi memiliki nilai terbesar disebabkan oleh penggunaan klor dalam proses pengolahan air limbah. Klor berperan dalam proses desinfeksi karena menghasilkan asam hipoklorit dan ion hipoklorit yang bersifat toksik bagi kuman. Selain itu, klorin berfungsi untuk menghilangkan bau dan rasa, serta mengoksidasi senyawa organik yang terkandung dalam limbah (Silvana, L., & Rodiah, S. 2020).

Lapisan ozon mengalami kerusakan disebabkan oleh gas seperti klorin dan bromin yang mengandung senyawa kimia dan menghasilkan emisi. Klorin berinteraksi dengan atom oksigen dalam molekul ozon dan menyebabkan perusakan pada molekul ozon. Atom oksigen bereaksi dengan klorin secara berulang-ulang sehingga membuat robekan di molekul ozon. Persamaan reaksi sebagai berikut:

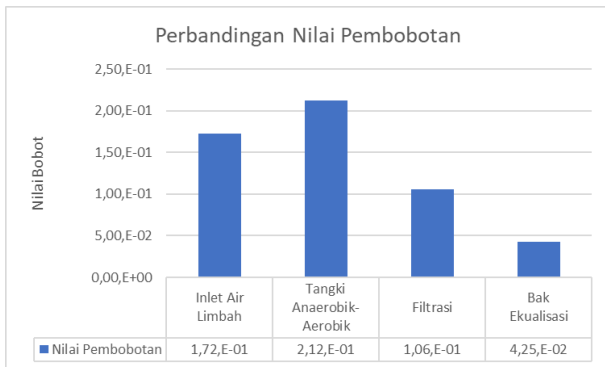


Dari persamaan reaksi tersebut, terlihat bahwa klor bertindak sebagai katalis yang mempercepat perubahan ozon menjadi oksigen. Molekul ozon yang berjumlah dari seratus dapat dihancurkan oleh satu atom klorin, akibatnya lapisan ozon yang berfungsi sebagai pelindung bumi dari radiasi ultraviolet yang berbahaya menjadi menipis (Arwini, 2019). Dampak dari kerusakan lapisan ozon atau *ozone depletion* yaitu kerusakan pada kesehatan dan dampak ini diukur dengan

menggunakan *Disability Adjusted Life Years* (Daly)/kg emisi (EPA, 2015).

### 3.3.4. Weighting atau Pembobotan

Pembobotan adalah tahapan dengan mengalikan hasil normalisasi masing-masing kategori dampak dengan faktor pembobot yang mencerminkan tingkat signifikansi relatif dari setiap kategori dampak. Hasil dari proses pembobotan ini mempunyai unit yang seragam yang digabungkan untuk menghasilkan satuan yang berefek pada lingkungan yang dinilai (Saputra, I.P., 2017). Hasil perhitungan nilai bobot sebagai berikut:



**Gambar 6** Perbandingan Nilai Pembobotan Tiap Proses

Hasil perbandingan nilai pembobotan menunjukkan bahwa proses tangki anaerobik-aerobik memiliki nilai terbesar, yaitu  $2,12 \times 10^{-1}$ . Dapat disimpulkan bahwa proses di tangki anaerob-aerob menghasilkan dampak terbesar terhadap lingkungan selama proses operasional instalasi pengolahan air limbah (IPAL) di Perusahaan Galangan Kapal. Dalam pengoperasiannya, proses di tangki anaerob-aerob menghasilkan gas metana dari proses pengolahan secara anaerob, dimana gas metana merupakan salah satu penyumbang pemanasan global. Selain itu, dalam pengoperasiannya membutuhkan blower untuk menginjeksikan udara ke dalam tangki yang membutuhkan energi listrik sehingga menimbulkan emisi ke udara.

### 3.5 Interpretasi

Penelitian ini menitikberatkan pada tiga dampak utama yang menjadi penyebab pencemaran udara, yaitu *Ozone Layer Depletion*, *Respiratory Inorganics*, dan *Global Warming*. Hasil analisis menggunakan software OpenLCA menunjukkan bahwa kontribusi terbesar terhadap emisi yang menyebabkan *global warming* dalam penelitian ini berasal dari CO<sub>2</sub>biogenik, N<sub>2</sub>O, dan produksi gas metana (CH<sub>4</sub>). Emisi-emisi ini dihasilkan secara signifikan oleh aktivitas mikroorganisme di setiap unit instalasi pengolahan. Sumber emisi lainnya berasal dari penggunaan energi listrik, yaitu CH<sub>4</sub> fosil dan CO<sub>2</sub> fosil yang berasal dari operasi pompa. Kedua jenis emisi ini muncul ketika menggunakan bahan bakar fosil untuk produksi energi listrik. Penggunaan listrik dalam proses anaerob-aerob memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan tiga proses lainnya karena proses ini menghasilkan gas metana yang menjadi salah satu penyebab pemanasan global, serta

megggunakan listrik untuk mengoperasikan pompa listrik dan dua pompa blower.

Selanjutnya, dampak lingkungan *respiratory inorganics* adalah dampak yang terjadi akibat adanya emisi zat kimia anorganik yang dapat mengganggu sistem pernapasan manusia. Proses di tangki anaerob-aerob menghasilkan dampak lingkungan *respiratory inorganics* tertinggi dibanding ketiga proses lainnya. Penggunaan listrik secara berlebih dapat menjadi penyebab utama zat organik terhirup dan mengganggu kesehatan karena produksi listrik masih menggunakan batu bara sebagai bahan bakar utama di Indonesia. Hasil pembakarannya menghasilkan polusi berupa emisi debu yang berjumlah besar.

Dampak lingkungan terakhir adalah *Ozone Layer Depletion* yang disebabkan oleh senyawa kimia berupa klorin dan bromin yang menjadi emisi di udara. Klor digunakan selama proses pengolahan karena klor dapat menghilangkan bau dan rasa, serta mengoksidasi senyawa organik dalam limbah. Perlu dilakukan upaya perbaikan dengan memberikan rekomendasi yang bertujuan untuk meminimalisasi dampak yang ditimbulkan ke lingkungan selama proses pengolahan air limbah di Perusahaan Galangan Kapal.

### 3.6 Rekomendasi Program Perbaikan

Setelah memahami dampak lingkungan dan faktor penyumbangnya melalui OpenLCA, selanjutnya memberikan program- rekomendasi perbaikan yang bertujuan untuk membuat pengoperasian Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di Perusahaan Galangan Kapal menjadi lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan. Beberapa rekomendasi perbaikan yang dapat diajukan mencakup:

#### 1. Digestasi Anaerobik untuk Mengolah Gas Metana

Lumpur yang terdapat pada instalasi pengolahan air limbah industri memiliki bentuk biomassa mikroba dan komposisinya didominasi material organik 50,6-52,1%. Komponen ini mengandung lebih banyak kandungan protein (19,7%) diperbandingkan dengan elemen selulosa (sekitar 0,2%) dan lemak (0,6%) (Nuraeni & Ashuri, 2018). Lumpur yang dihasilkan sebagai produk samping dari proses pencernaan anaerobik juga memiliki kandungan unsur hara yang dapat dimanfaatkan menjadi kompos. Penggunaan metode ini diharapkan dapat membantu mengurangi dampak *respiratory inorganics* dan *global warming* pada proses pengolahan karena proses tersebut dapat menghasilkan banyak gas metana.

#### 2. Pembaruan Unit Instalasi dan Pemantauan Secara Berkala

Unit pengolahan instalasi air perlu dilakukan pemantauan rutin secara berkala. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa peralatan pendukung unit instalasi beroperasi secara optimal dan terhindar dari ptensi kerusakan yang dapat menghambat proses pengolahan. Selain itu, unit instalasi yang lama juga harus diperbarui dengan unit baru karena unit yang baru akan lebih efektif dan efisien dibandingkan dengan unit yang sudah lama digunakan. Hal ini terkait dengan penekanan pada kategori dampak pemanasan global terkait dengan konsumsi listrik di Indonesia, di mana produksi listrik masih banyak memanfaatkan batu bara, bahan bakar yang tidak dapat diperbarui yang memerlukan waktu lama untuk pembentukannya secara alami.



### 3. Pembuatan Lahan Terbuka Hijau

Adanya area terbuka hijau dengan tumbuhan hijau di sekitar area IPAL memiliki potensi untuk mengurangi dampak lingkungan pemanasan global, karena tumbuhan mampu menyerap karbon dioksida dan karbon monoksida yang dihasilkan selama pengolahan. Selain itu, penanaman tumbuhan juga dapat meningkatkan kualitas lingkungan sekitar, menciptakan suasana yang lebih nyaman, segar, dan sejuk (Utama et al., 2020).

## 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian ini, diantaranya:

1. Proses pengolahan IPAL di salah satu Perusahaan Galangan Kapal di Kota Surabaya menggunakan empat unit pengolahan yaitu bak penampung awal sebagai inlet, tangki anaerob-aerob, filtrasi, dan bak ekualisasi. Proses analisis LCA dilakukan secara *gate to gate* dan menggunakan aplikasi OpenLCA dengan metode IMPACT 2002+. Dampak pada lingkungan yang dievaluasi adalah *Ozone Layer Depletion*, *Respiratory Inorganics* dan *Global Warming*.
2. Dari hasil analisis, dampak *global warming* terbesar dihasilkan dari proses di tangki anaerob-aerob sebesar  $3,60 \times 10^{-4}$  kg CO<sub>2</sub>-eq. Dampak lingkungan *Respiratory Inorganics* terbesar juga dihasilkan dari proses anaerob-aerob, dimana dari hasil analisis didapatkan sebesar  $3,02 \times 10^2$  kg PM<sub>2.5</sub> eq. Dampak lingkungan terakhir yaitu *Ozone Layer Depletion*, dimana dampak terbesar dihasilkan dari proses bak ekualisasi yaitu sebesar  $4,62 \times 10^{-2}$  kg CFC-11 eq.
3. Rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan oleh Perusahaan Galangan Kapal untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pengoperasian IPAL antara lain pengolahan gas metan dengan digesti anaerobik, pemantauan unit secara berkala, dan pembuatan lahan terbuka hijau.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada salah satu industri galangan kapal di Kota Surabaya yang telah memberikan kelancaran dalam penelitian ini dengan menyediakan data-data dan informasi yang dibutuhkan. Selain itu, penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan serta bantuan dalam proses penelitian ini. Semua kontribusi yang diberikan sangat berarti dan berperan penting dalam kesuksesan pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arwini, N. P. D. (2019). Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kualitas Udara Di Provinsi Bali. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, 2(2), 20-30.
- EPA, (2015), Health and Environmental Effect of Ozone Layer Depletion. *United States Environmental Protection Agency: Ozone Layer Protection*
- Febrina, L., Wahyudi, D., & Harki, R. D. (2021). Kajian Emisi Co2 Berdasarkan Jejak Karbon Sekunder Di Lingkungan Universitas Sahid Jakarta. *Sustainable Environmental and Optimizing Industry Journal*, 3(1), 40-49.
- Law, Y., Jacobsen, G. E., Smith, A. M., Yuan, Z., & Lant, P. (2013). Fossil organic carbon in wastewater and its fate in treatment plants. *Water Research*, 47(14), 5270–5281.
- Nuraeni, R., & Ashuri, A. (2018). Wastewater Specific Emission Factor From Communal Wastewater Treatment Plant (WWTP). *Widyariset*, 4(1), 37-48.
- Nurunissa, S., & Aziz, R. (2020). Kajian Dampak Lingkungan Sistem Pengelolaan Sampah Di Kawasan Wisata Pantai Pariaman Menggunakan Metode LCA (Life Cycle Assessment). *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri (JTII)*, 1(2).
- Parravicini, V., Svardal, K., & Krampe, J. (2016). Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants. *Energy Procedia*, 97, 246–253.
- R.K. Darman, (2020). Evaluasi Dampak Lingkungan Pada Proses Produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) Amia Dengan Metode Life Cycle Assessment (LCA) (Studi Kasus Di PT Amanah Insanillahia Batusangkar). *Jurnal Sains dan Teknologi*.
- Saputra, I.P. (2017). *Penerapan Life Cycle Energy Analysis (LCEA) untuk Mengurangi Dampak Lingkungan dari Konsumsi Energi di Hotel Alila Manggis* [Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. [https://repository.its.ac.id/46569/1/2513100090-Undergraduate\\_Theses.pdf](https://repository.its.ac.id/46569/1/2513100090-Undergraduate_Theses.pdf)
- Sari, I. P., Ilasabilrosyad, A., Tanjoy, Y. E., & Rahayu, S. M. (2023). Occupational Health and Safety Risks in the Shipbuilding Industry, Case Study at PT Blambangan Bahari Shipyard. *Buletin Jalanidhitah Sarva Jivitam*.
- Silvana, L., & Rodiah, S. (2020). Pengaruh Penambahan Gas Klor Sebagai Desinfektan Coliform dan Eschericia Coli Pada Pengolahan Air Minum. *In Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 3, pp. 589-593).
- Sucipto, A., Brilliantina, A., Sari, E. K. N., Wijaya, R., Triardianto, D., & Adhamatika, A. (2023). Rancang Bangun Alat Deteksi Dan Pengukur Gas Emisi Karbondioksida (CO<sub>2</sub>) Dan Gas Emisi Metana (CH<sub>4</sub>) Berbasis Mikrokontroler. *JUSTER: Jurnal Sains dan Terapan*, 2(1), 122-126.
- Utama, I. M. P., Nafisah, B. Z., Terasne, T., Hanan, A., Sugianto, N., & Imansyah, I. (2020). Praktik Pelestarian Lingkungan Melalui Kegiatan Penanaman Pohon di Kawasan Pesisir Pantai Mapak Mataram. *Jurnal Pengabdian UNDIKMA*, 1(1), 65-69.
- Wahyudi, J. (2017). Penerapan Life Cycle Assessment Untuk Menakar Emisi Gas Rumah Kaca Yang Dihasilkan Dari Aktivitas Produksi Tahu. *URECOL*, 475-480.
- Wahyuni, S. (2013). Biogas: Energi Alternatif Pengganti BBM, Gas dan Listrik. *Cetakan I. PT Agromedia Pustaka*.
- Yekti, H. S., & Mirwan, M. (2021). Analisis Dampak Pencemaran Lingkungan Dengan Metode Life Cycle

Assessment (Lca) Pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (Ipal) Pt. Surabaya Industrial Estate Rungkut (Sier) Surabaya. *EnviroUS*, 1(2), 120-128.