



Analisis Dampak Lingkungan Proses Pengolahan Air Limbah Bandar Udara X Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment*

Gita Gempita Nugroho

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Restu Hikmah Ayu Murti

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Alamat: Jl. Rungkut Madya No.1, Gn. Anyar, Kec. Gn. Anyar, Surabaya, Jawa Timur 60294

Korespondensi penulis: : restu.hikmah.tl@upnjatim.ac.id

Abstract. As a company engaged in transportation services, the airport located in East Java Province produces liquid waste with a quite large discharge in a day, which is 1120 m³. To treat the wastewater, the company has a Sewage Treatment Plant (STP) to adjust its quality standards before being discharged into the river. Every WWTP has the potential to cause environmental impact, both from the processing process and from the operation supporting tools. This study aims to analyze the three largest environmental impacts resulting from wastewater treatment activities at the airport in East Java, which are the impacts of Aquatic Ecotoxicity, Non-Renewable, and Ionizing Radiation. In addition, the author also provides recommendations for alternative STP operations that are more environmentally friendly. The approach used is the Life Cycle Assessment method using the OpenLCA application with the IMPACT 2002+ method.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); Sewage Treatment Plant; Environmental Impact Analysis

Abstrak. Sebagai perusahaan yang bergerak di bidang jasa transportasi, salah satu bandar udara yang berlokasi di Provinsi Jawa Timur menghasilkan limbah cair dengan debit yang cukup besar dalam sehari, yaitu 1120 m³. Untuk mengolah air limbah tersebut perusahaan terkait menyediakan Instalasi Pengolahan Air (IPAL) untuk menyesuaikan baku mutu air sebelum dibuang ke sungai. Setiap proses pengolahan air limbah memiliki potensi menimbulkan dampak lingkungan, baik yang berasal dari proses pengolahan maupun dari alat-alat penunjang pengoperasian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tiga dampak lingkungan terbesar yang dihasilkan dari kegiatan pengolahan air limbah di Bandar Udara X, yaitu dampak *Aquatic Ecotoxicity*, *Non-Renewable Energy*, dan *Ionizing Radiation*. Selain itu, penulis juga memberikan rekomendasi alternatif pengoperasian IPAL yang lebih ramah lingkungan. Adapun pendekatan yang digunakan adalah metode kajian daur hidup (Life Cycle Assessment) menggunakan aplikasi OpenLCA dengan metode IMPACT 2002+.

Kata kunci: Life Cycle Assessment (LCA); Analisis Dampak Lingkungan; Waste Water Treatment Plant

LATAR BELAKANG

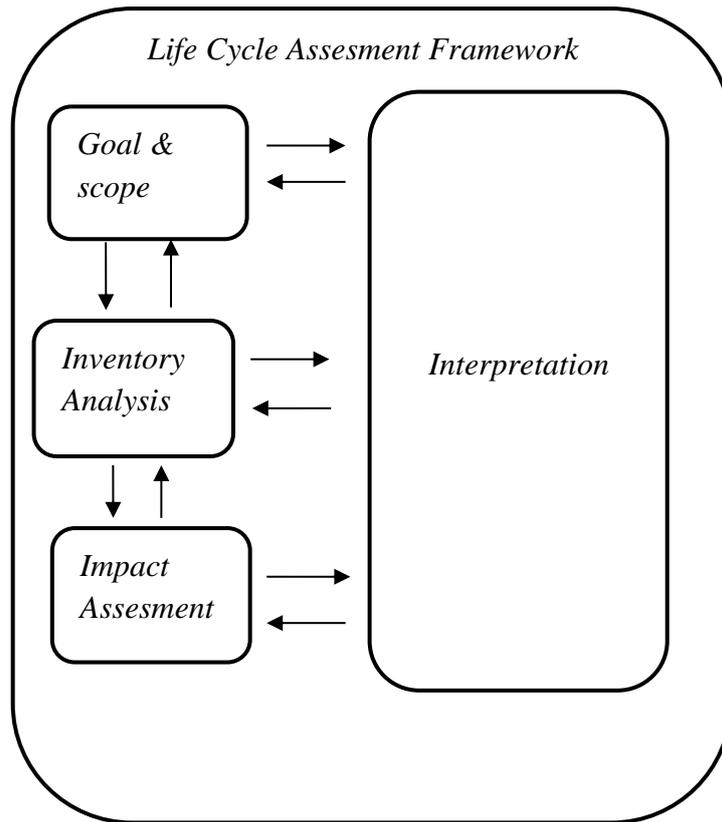
Bandar Udara merupakan area dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat mendarat dan lepas landas pesawat udara, naik turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya (RI, 2021). Kegiatan usaha di Bandar Udara, penyelenggara pelayanan jasa kebandarudaraan wajib bertanggung jawab dalam menjaga kelestarian lingkungan (Kementrian Perhubungan, 2021). Salah satu upaya pelestarian lingkungan yang perlu diterapkan di Bandar Udara adalah pengolahan air limbah untuk mendegradasi kontaminan agar tidak mencemari badan air. Salah satu bandar udara yang berlokasi di Jawa Timur menghasilkan limbah cair domestik dengan debit yang cukup besar dalam sehari, yaitu 1120 m³. Untuk mengolah limbah cair tersebut

perusahaan terkait memiliki Instalasi Pengolahan Air (IPAL) domestik untuk menyesuaikan baku mutunya sebelum dibuang ke badan air. Dalam pengoperasiannya, IPAL berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, baik yang disebabkan oleh proses pengolahan maupun alat-alat penunjang yang digunakan. Salah satu dampak yang ditimbulkan dari proses pengolahan air di perusahaan ini adalah dampak emisi gas rumah kaca berupa gas metana (CH₄), karbon dioksida (CO₂) dan dinitrogen oksida (N₂O) yang timbul akibat penggunaan energi listrik untuk pengoperasian IPAL. Maka dari itu, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui seberapa besar suatu unit proses memengaruhi nilai dampak lingkungan. Life Cycle Assesment (LCA) merupakan pendekatan dari hulu ke hilir atau *cradle to grave* untuk menilai suatu sistem produk secara kuantitatif (KLHK, 2021). Dari permasalahan yang terjadi, pendekatan Life Cycle Assesment dapat digunakan untuk mengetahui nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pengolahan air di Bandar Udara X. Hal ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memberikan rekomendasi saran perbaikan agar aktivitas pengolahan air menjadi lebih ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian pada jurnal ini dilakukan di salah satu Bandar Udara X yang berlokasi di Jawa Timur. Proses pengumpulan data dilakukan selama 7 hari mulai dari tanggal 20-27 April 2024. Data yang akan diolah pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dengan cara observasi langsung dan wawancara, sedangkan data sekunder diperoleh melalui studi pustaka. Data primer mencakup data penggunaan energi listrik, kondisi eksisting IPAL, dan penggunaan bahan kimia, sedangkan data sekunder mencakup data debit air limbah domestik yang masuk ke IPAL per harinya.

Berdasarkan prosedur LCA pada ISO 14040 terdapat 4 tahapan yang perlu dilakukan dalam analisis daur hidup, yaitu penentuan tujuan dan ruang lingkup (*goal and scope*), analisis inventori (*inventory analysis*), penilaian dampak (*impact assessment*) dan interpretasi. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan menggunakan software OpenLCA dengan metode IMPACT 2002+ untuk memperoleh hasil perhitungan penilaian dampak. Adapun database pendukung yang digunakan yaitu OpenLCA LCIA methods.

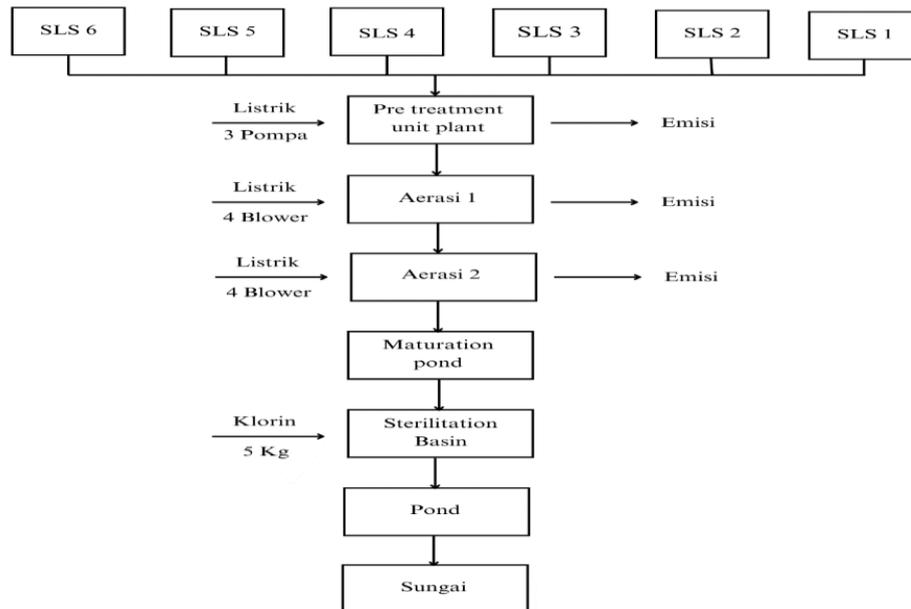


Gambar 1 Kerangka Kerja LCA (ISO, 2006)

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Tujuan dan Ruang Lingkup (*Goal and Scope*)

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apa saja dan seberapa besar nilai dampak lingkungan yang disebabkan oleh pengoperasian IPAL domestik di Bandar Udara X dalam satu hari. Selain itu, penelitian ini juga dilakukan agar dapat memberikan rekomendasi pada proses pengoperasian IPAL sehingga nilai dampak lingkungan yang dihasilkan menurun. Sedangkan ruang lingkup pada penelitian ini berdasarkan pada unit proses pengolahan air limbah domestik di Bandar Udara X yang meliputi, Inlet, Aerator 1, Aerator 2, *Maturation Pond*, *Sterilization Basin*, dan *Pond 1*



Gambar 2 Bagan Alir Proses Pengolahan Air Limbah Domestik Bandar Udara

Proses pengolahan air limbah dimulai dari unit Inlet yang mengumpulkan air limbah dari SLS 6 – SLS 1. SLS atau Sewage Lift Up System merupakan stasiun pengumpul dan penyalur untuk menaikkan air limbah ke permukaan yang lebih tinggi (Steeg, n.d.). Kemudian pengolahan berlanjut ke proses berikutnya hingga air limbah dapat dibuang ke sungai. Penggunaan listrik pada setiap unit proses berbeda-beda sesuai dengan jumlah pompa dan blower yang digunakan.

2. Analisis Inventori Data (*Inventory Analysis*)

Pengumpulan inventori data input dan output dari proses IPAL didapatkan melalui wawancara dan studi pustaka. Data primer yang didapatkan berupa nilai penggunaan listrik yang digunakan untuk pengolahan air limbah selama satu hari dan kondisi eksisting IPAL untuk mengetahui tiap unit proses yang ada. Sedangkan data sekunder berupa nilai debit air limbah yang masuk ke IPAL. Data inventori yang telah dikumpulkan kemudian akan dianalisis dampak lingkungannya menggunakan software OpenLCA.

Tabel 1 Inventori Data Proses IPAL Bandar Udara Juanda Dalam Satu Hari

No	Proses	Input	Jumlah	Satuan	Output
1	Inlet	Air Limbah Listrik	1120 266,4	m ³ kWh	Air Limbah Emisi
2	Aerasi 1	Air Limbah Listrik	1120 528	m ³ kWh	Air Limbah Emis
3	Aerasi 2	Air Limbah Listrik	1120 528	m ³ /hari kWh	Air Limbah Emisi
4	<i>Maturation Pond</i>	Air Limbah	1120	m ³ /hari	Air Limbah
5	<i>Sterilitation Basin</i>	Air Limbah Klorin	1120	m ³ /hari	Air Limbah
6	<i>Pond 1</i>	Air Limbah	1120	m ³ /hari	Air Limbah

3. Analisis Penilaian Dampak Proses Pengolahan Air Limbah (*Impact Assesement*)

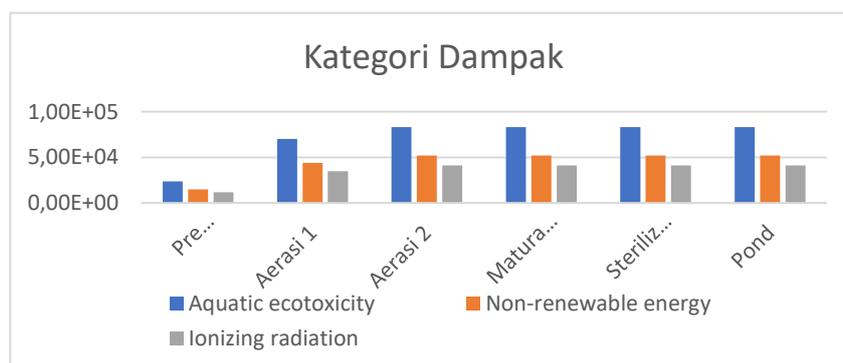
Analisis *Impact Assesment* bertujuan untuk mendapatkan nilai dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses IPAL berdasarkan dari inventori data yang telah dikumpulkan. Terdapat beberapa dampak lingkungan yang dapat dianalisis menggunakan metode IMPACT 2002+, yaitu *Global Warming*, *Ionizing Radiation*, *Land Occupation*, *Non-Renewable Energy*, *Mineral extraction*, dan dampak-dapak lainnya. Adapun dampak yang akan dianalisis pada jurnal ini adalah 3 nilai dampak tertinggi, yaitu *Aquatic Ecotoxicity*, *Non-Renewable Energy*, dan *Ionazing Radiation*.

Characterization

Characterization merupakan nilai karakterisasi dampak yang berkontribusi dalam tiap kategori dampak, berdasarkan faktor karakterisasinya (Wijayanti et al., 2023). Terdapat 13 nilai kategori dampak yang muncul berdasarkan data inout dan outpun yang dimasukkan, tetapi pada penelitian ini pembahasan akan difokuskan pada tiga nilai dampak terbesar, yaitu *Aquatic Ecotoxicity*, *Non-Renewable Energy*, dan *Ionazing Radiation*.

Tabel 2 Nilai Perhitungan Karakterisasi Dampak

Kategori Dampak	Unit	Pre Treatment	Aerasi 1	Aerasi 2	Maturation Pon	Sterilization Basin	Pond
Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	2.35E+04	7.02E+04	8.31E+04	8.31E+04	8.31E+04	8.31E+04
Non-renewable energy	MJ primary	1.47E+04	4.39E+04	5.20E+04	5.20E+04	5.20E+04	5.20E+04
Ionizing radiation	Bq C-14 eq	1.17E+04	3.48E+04	4.12E+04	4.12E+04	4.12E+04	4.12E+04



Gambar 1 Grafik Perbandingan Kategori Dampak

Berdasarkan hasil karakterisasi dampak pada Tabel 2 dapat diketahui nilai dampak dari proses pengolahan air limbah di IPAL Bandar Udara X. Dari ketiga dampak lingkungan tertinggi yang dianalisis, baik itu Aqua Ecotoxicity, Non-Renewable Energy, dan Ionazing Radiation unit proses yang menghasilkan nilai tertinggi adalah unit Aerasi 2, Maturation Pond, Sterilization Basin, dan Pond dengan nilai dampak lingkungan yang sama.

Aquatic Ecotoxicity

Dampak *Aquatic Ecotoxicity* merupakan dampak lingkungan dengan nilai terbesar pada IPAL yang diteliti. Nilai *Aquatic Ecotoxicity* memperkirakan potensi dampak zat beracun terhadap ekologi perairan dengan satuan yang digunakan yaitu kg TEG water. Berdasarkan nilai karakterisasi, dampak *Aquatic Ecotoxicity* paling tinggi dihasilkan oleh unit Aerasi 2, *Maturation Pond*, *Sterilization Basin*, dan Pond dengan nilai yang sama, yaitu $8.31E+04$ kg TEG water. Nilai ini berasal dari perhitungan *Impact Analysis* database *electricity* (listrik) yang digunakan dalam input proses. Berdasarkan database tersebut input listrik menghasilkan dampak *Aquatic Ecotoxicity* yang disebabkan oleh kandungan logam berat pada air buangan proses produksinya, berupa arsenik, aluminium, tembaga, merkuri, dll.

Non-Renewable Energy

Suplai energi di dunia pada saat ini Sebagian besar berasal dari sumber energi yang bersifat non terbarukan, seperti seperti, minyak, batubara, dan gas (Reny Oktaviani Paturu & Aullia Vivi Yulianingrum, 2023). Dalam pengoperasiannya, IPAL Bandara X masih menggunakan energi listrik tenaga fosil untuk menjalankan mesin pompa dan aerator sebagai alat penunjang pengolahan air limbah. Pada penelitian ini, tahapan proses IPAL yang menggunakan energi listrik adalah unit Inlet, Aerasi 1, dan Aerasi 2.

Air yang akan masuk ke Inlet dialirkan menggunakan 3 pompa yang memerlukan daya listrik 266,4 kWh. Sedangkan unit Aerasi 1 dan Aerasi 2 menggunakan 4 aerator di masing-masing unit proses dengan daya listrik yang digunakan tiap unit adalah 528 kWh. Dari penggunaan energi listrik tersebut dihasilkan dampak *Non-Renewable Energy* dengan satuan unit MJ primary. Berdasarkan nilai karakterisasi, *Non-Renewable Energy* paling tinggi dihasilkan oleh unit Aerasi 2 dengan nilai sebesar $5.20E+04$ MJ Primary. Unit proses yang tidak menggunakan energi listrik seperti *Maturation Pond*, *Sterilization Basin*, dan Pond tetap menghasilkan dampak *Non-Renewable Energy* karena dipengaruhi oleh hasil output proses sebelumnya yang menjadi input di unit tersebut.

Ionizing Radiation

Radiasi gamma merupakan energi yang mampu untuk membebaskan elektron dari molekul. Dalam analisis dampak lingkungan dari pengoperasian IPAL Bandara X, *Ionizing Radiation* merupakan nilai dampak dari emisi penggunaan listrik yang dilepas ke udara. Pada proses pengoperasian IPAL Bandara X dampak ionizing radiation paling tinggi dihasilkan pada unit Aerasi 2 dengan nilai $4.12E+04$ Bq C-14 eq. Pada unit proses setelah Aerasi 2, seperti *Maturation Pond*, *Sterilization Basin*, dan Pond tidak ada penggunaan energi listrik, tetapi tetap dihasilkan nilai dampak *Ionizing Radiation* karena adanya input air limbah yang merupakan output dari proses Aerasi 2.

4. Interpretasi dan Langkah Perbaikan

Berdasarkan hasil analisis penilaian dampak menggunakan *software* OpenLCA dapat diketahui bahwa dampak lingkungan dari pengoperasian IPAL disebabkan oleh penggunaan energi listrik bertenaga fosil yang tidak ramah lingkungan. Salah satu langkah perbaikan yang dapat diterapkan adalah dengan melakukan peralihan penggunaan energi listrik bertenaga fosil ke Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Berdasarkan lokasi eksisting IPAL, PLTS dapat dipasang di lahan kosong atau atap bangunan sekitar IPAL. Namun, pemasangan PLTS ini perlu disesuaikan dengan kebijakan keamanan yang berlaku di bandar udara. Salah satu risiko tertinggi yang dapat membahayakan keamanan penerbangan akibat penggunaan PLTS adalah gangguan silau dan gangguan system komunikasi (Suartawan et al., 2025). Oleh karena itu, sebelum pemasangan PLTS perlu dilakukan pencegahan terhadap bahaya silau dan memastikan bahwa peletakan PLTS telah berada di jarak aman sehingga tidak terjadi gangguan system komunikasi dan navigasi.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari hasil *Life Cycle Assesment* pengolahan air di Bandar Udara X yang terletak di Provinsi di Jawa Timur menggunakan metode IMPACT 2002+ adalah tiga dampak lingkungan dengan nilai tertinggi, yaitu *Aquatic Ecotoxicity*, *Non-Renewable Energy*, dan *Ionizing Radiation*. Nilai ketiga dampak tersebut dipengaruhi oleh konsumsi listrik yang terjadi di unit *Pretreatment*, Aerasi 1, dan Aerasi 2. Sedangkan unit lainnya tidak memengaruhi nilai dampak karena tidak dibutuhkan energi listrik dalam prosesnya, hal ini dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan nilai dampak lingkungan yang konstan di unit *Maturation Pon*, *Sterilization Basin*, dan *Pond*. Berdasarkan dampak lingkungan tersebut rekomendasi perbaikan yang dapat diterapkan adalah dengan mengganti sumber energi listrik menggunakan sumber energi yang lebih ramah lingkungan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS).

DAFTAR REFERENSI

- ISO. (2006). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework (ISO 14040). Geneva, Switzerland.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). Pedoman penyusunan laporan penilaian daur hidup (LCA) (Vol. 1, pp. 1–82).
- Kementrian Perhubungan. (2021). PM No. 33 Tahun 2021 kegiatan perusahaan di bandar udara.

- Paturu, R. O., & Yulianingrum, A. V. (2023). Urgensi pengembangan kebijakan energi baru dan terbarukan dalam rangka ketahanan energi nasional. *Jurnal Ilmu Pendidikan dan Sosial*, 2(2), 170–182. <https://doi.org/10.58540/jipsi.v2i2.376>
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2021 tentang penyelenggaraan bidang penerbangan. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, 086085, 1–110. https://jdih.setkab.go.id/PUUdoc/176355/PP_Nomor_32_Tahun_2021.pdf
- Steeg, H. B. (n.d.). Sanitary sewage lift stations. 192–200.
- Suartawan, G. P., Giriantari, I. A. D., Sukerayasa, I. W., & Gede, W. (2025). Perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) pada atap gedung Wisti Sabha bandar udara. 11(1), 188–196.
- Wijayanti, S., Cahyono, L., & Setiawan, A. (2023). Analisis dampak lingkungan proses pengolahan air limbah industri susu dengan metode LCA menggunakan metode penilaian Recipe 2016. 6(2623), 307–313.