

METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) PADA PROSES INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) DOMESTIK PERUSAHAAN KONSTRUKSI**RA Lailita Aswanda Riqqah¹, Yayok Suryo Purnomo²**¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jl. Rungkut Madya, Surabaya, 60294, Indonesia*E-mail:* yayoksp.tl@upnjatim.ac.id**Abstract**

One of the construction companies in Indonesia generates domestic wastewater from daily activities in the office area. On average, the company produces 3.83 m³ of domestic wastewater per day. The company has a domestic wastewater treatment plant that processes the wastewater to meet quality standard parameters before being discharged into the surrounding water bodies. Through the Life Cycle Assessment (LCA) method, the environmental impacts of the wastewater treatment plant process can be analyzed. This study uses a gate-to-gate approach with OpenLCA 2.3.1 software and the IMPACT 2002+ method. The largest impact categories identified from the analysis are global warming, with 19.7238224 kg CO₂ eq, and respiratory organics, with 6.06708E-5 kg C₂H₄ eq. Several improvement recommendations that can be considered as alternatives include managing the sludge produced during the anaerobic-aerobic process properly through anaerobic digestion to process methane gas and improving the monitoring and maintenance of the system.

Article History

Submitted: 13 Januari 2025

Accepted: 18 Januari 2025

Published: 19 Januari 2025

Key Words

Environmental Impact Analysis, Wastewater Treatment Plant, Life Cycle Assessment

Abstrak

Salah satu perusahaan konstruksi di Indonesia menghasilkan air limbah domestik yang dihasilkan oleh aktivitas keseharian di area perkantoran. Perharinya perusahaan konstruksi tersebut menghasilkan air limbah domestik rata – rata sebesar 3,83 m³/hari. Perusahaan konstruksi memiliki instalasi pengolahan air limbah domestik guna air limbah sesuai parameter baku mutu sebelum dialirkan pada badan air sekitar. Lewat metode Life Cycle Assessment (LCA), dilakukan analisis terkait dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses instalasi pengolahan air limbah tersebut. penelitian ini menggunakan pendekatan gate to gate menggunakan software OpenLCA 2.3.1 dengan metode IMPACT 2002+. Didapatkan kategori dampak terbesar dari hasil analisis yaitu global warming sebesar 19,7238224 kg CO₂ eq dan respiratory organics sebesar 6,06708E-5 kg C₂H₄ eq. Beberapa rekomendasi perbaikan yang dapat menjadi alternatif pertimbangan mencakup mengelola lumpur yang dihasilkan selama proses anaerob-aerob dengan baik dengan digestasi anaerob untuk mengolah gas metana serta melakukan peningkatan pemantauan dan pemeliharaan sistem.

Sejarah Artikel

Submitted: 13 Januari 2025

Accepted: 18 Januari 2025

Published: 19 Januari 2025

Kata Kunci

Analisis Dampak Lingkungan, Instalasi Pengolahan Air Limbah, Life Cycle Assessment

PENDAHULUAN

Berkembang pesatnya industri di Indonesia tentu cukup signifikan dampaknya pada lingkungan. Aspek penting dalam operasional industri yang perlu dipertimbangkan, salah satunya yaitu terkait pengolahan air limbah. Air Limbah merupakan limbah cair hasil buangan dari proses industri maupun domestik yang dibuang ke badan air berpotensi menjadi pencemaran terhadap lingkungan ketika tanpa melewati pengolahan tertentu. Adapun pengolahan air limbah perlu dilangsungkan untuk mengubah karakteristik air limbah guna mengurangi sifat bahaya serta memastikan air limbah telag sesuai dengan tingkat kualitas sebagaimana ditentukan pemerintah, sehingga air limbah tersebut aman bila dibuang pada badan air (Pasetia et al., 2020).

Salah satu perusahaan konstruksi di Indonesia menghasilkan air limbah domestik yang dihasilkan oleh aktivitas keseharian di area perkantoran. Perharinya perusahaan konstruksi tersebut menghasilkan air limbah domestik rata – rata sebesar 3,83 m³/hari. Berdasarkan UU Nomor 3 Tahun 2021 terkait dengan sarana ataupun prasaranan yang bersifat wajib industri penuh, termasuk dalam lingkungan kawasan industry, yaitu termasuk pengolahan limbah terpadu, perusahaan konstruksi tersebut sudah mengoperasikan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik sejak tahun 2020 untuk mengolah air limbah kegiatan domestik untuk menyesuaikan baku mutu agar dapat dialirkan pada badan air sekitar perusahaan.

Setiap pengolahan air limbah memiliki potensi dalam menghasilkan emisi mencakup karbon dioksida (CO₂), nitrogen dioksida (N₂O), dan metana (CH₄) (Hanugrah Sinedyo Yekti dan Mohammad Mirwan, 2021). Merujuk dari kuantitas air limbah domestik yang dihasilkan tiap harinya memiliki potensi dalam menimbulkan emisi sehingga perlu strategi lain agar produk yang dihasilkan tidak berdampak pada pencemaran lingkungan. Tujuan dari konsep produk yang ramah lingkungan ini tentunya sebagai upaya minimalisasi pengaruh pada lingkungan dan perbaikan kualitas hidup secara umum, serta penerapan akan konsep keberlanjutan sehingga dapat memanfaatkan sumber daya secara efisien sepanjang hidup. Dalam menentukan aspek keberlanjutan suatu produk memungkinkan adanya metode penilaian berupa metode Life Cycle Assessment (LCA), atau yang termasuk sebagai metode yang dapat dilakukan terkait pengukuran atas tingkatan dampak terhadap lingkungan oleh serangkaian kegiatan tertentu berdasarkan pengumpulan data *input* ataupun *output*, produk sekunder proses, serta sumber daya dalam proses yang dilakukan (Pratiwi et al., 2023). LCA berperan penting dengan mengevaluasi keberlanjutan lingkungan dengan menangkap trade-off di berbagai kategori masalah lingkungan. LCA dapat memberikan perlindungan terhadap lingkungan (Astuti, 2019)

Penerapan LCA pada proses pengolahan air limbah domestik di perusahaan konstruksi untuk mengidentifikasi, menganalisis aspek, dan potensi dampak lingkungan yang terjadi. Penerapan yang dilakukan adalah dengan pengolahan terhadap seperangkat, yang di antaranya adalah beban olahan air limbah domestik dan bahan bakar yang digunakan, penggunaan bahan kimia, serta beban Listrik yang digunakan.

Sehingga dengan mengacu pada uraian di atas, penelitian ini dilakukan dengan maksud mengidentifikasi, menganalisis, dan mengkaji sejauh mana dampak yang ditimbulkan oleh proses IPAL domestik terhadap lingkungan serta memungkinkan rekomendasi perbaikan atas dampak lingkungan dari IPAL domestik di perusahaan konstruksi.

METODE PENELITIAN

Dalam rangka pengumpulan data perusahaan konstruksi berikut, analisis yang memuat bobot PAL Domestik, beban energi, serta bahan kimiadalam proses IPAL, penelitian ini akan menerapkan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini juga akan mempergunakan metode *Life Cycle Assessment* (LCA) untuk menganalisis dampak pengolahan air limbah di perusahaan konstruksi pada lingkungan. Data yang digunakan diambil berdasarkan sumber sekunder menurut panduan ISO 14040:2006, dengan penggunaan program OpenLCA 2.3.1 untuk mendukung pemrosesan data melalui IMPACT 2002+ dengan dua fokus terhadap *Global Warming* dan *Respiratory Organics* sebagai pengaruh utama yang menyebabkan timbulnya pencemaran udara.

Dua jenis variable yang digunakan adalah:

1. Variabel Independen
 - a. Analisis berikut debit aliran IPAL domestik perusahaan konstruksi.
 - b. Kebutuhan sumber daya, termasuk beban Listrik dan air
 - c. Konsumsi bahan kimia dalam proses PAL domestik
2. Variabel Dependen
 - a. Metode berdasarkan kondisi pada wilayah IPAL berikut dihasilkan dampaknya yang berupa *Global Warming* dan *Respiratory Organics*.
 - b. Dalam meminimalisasi dampak yang timbul atas pelaksanaan pengolahan air limbah, berikut rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan:
 1. Alternatif 1: melakukan pengolahan gas metan melalui digestasi anaerobik
 2. Alternatif 2: melakukan peningkatan pemantauan dan pemeliharaan sistem
 3. Alternatif 3: efisiensi energi untuk mengurangi konsumsi energi dalam proses pengolahan air limbah

HASIL DAN PEMBAHASAN

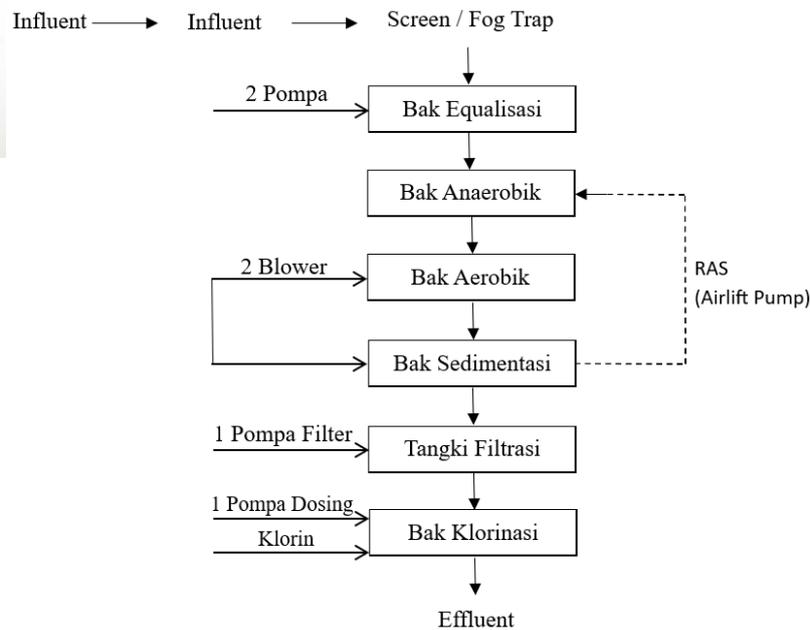
Pengolahan Life Cycle Assessment (LCA) dengan software OpenLCA 2.3.1

Data penelitian yang berupa penilaian terhadap dampak lingkungan diolah dan dianalisis melalui penggunaan program OpenLCA 2.3.1. terdapat beberapa tahap yang dilakukan. Dalam Life Cycle Assessment (LCA), hal awal yang perlu dilakukan yaitu dengan menentukan tujuan dan ruang lingkup serta batasan studi. Selanjutnya adalah tahap Life Cycle Inventory (LCI) yaitu tahap mengidentifikasi, mengumpulkan, dan menghitung data material dan energi sebagai data input serta data hasil pengolahan sebagai data output. Tahap selanjutnya adalah Life Cycle Impact Assessment (LCIA), sebagai penentuan apa saja dampak pada lingkungan dari proses pengolahan, yakni terdiri atas karakteristik, klasifikasi, interpretasi, dan kesimpulan. Gambaran atas dampak proses pada perbaikan lebih lanjut akan diperoleh melalui interpretasi atas serangkaian data tersebut.

c

Goal dan Scope

Tahapan penentuan goal dan scope termasuk sebagai tahap untuk mulai melakukan analisis Life Cycle Assessment (LCA) dengan menentukan maksud dan batasan penelitian agar dapat diketahui dengan jelas dan terarah sehingga data dapat dikumpulkan sesuai dengan penetapan yang dilakukan (Yudha et al., n.d.). Sifat pada penelitian ini yaitu *gate to gate*, atau dengan analisis yang dilakukan hanyalah terhadap operasional terdekat atas pelaksanaan pengolahan air limbah domestik. Pada perusahaan konstruksi ini menjalankan pengolahan air limbah domestik melalui penggunaan equalisasi sejumlah satu unit, bak anaerobik sejumlah satu unit, bak aerobik sejumlah satu unit, bak sedimentasi satu unit dan tangki filtrasi satu unit, serta klorinasi dalam satu bak. Gambar di bawah akan menunjukkan alur dari pelaksanaan IPAL pada perusahaan konstruksi:



Gambar 1. Alur Proses Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik di perusahaan konstruksi

Life Cycle Inventory (LCI)

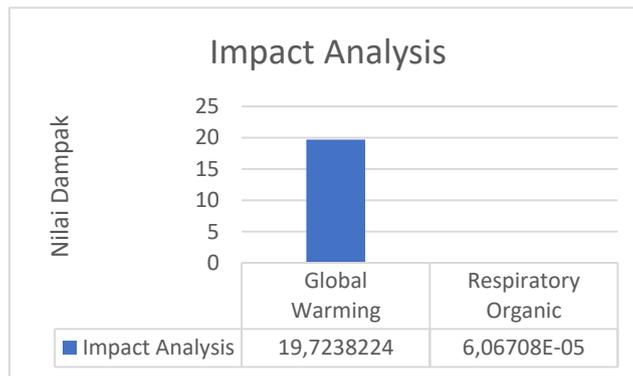
Data evaluasi atas dampak yang diberikan proses pengolahan air limbah akan dikumpulkan dan analisisnya akan dilakukan melalui program OpenLCA.. Nilai beban konsumsi listrik didapatkan melalui observasi pada perusahaan konstruksi terkait, yang secara khusus terkait penggunaan pompa, berikut rasio emisi CO₂, CH₄, dan N₂O. sesudah data terkumpul, selanjutnya akan diidentifikasi nilai dari dampak lingkungan pada masing-masing proses IPAL di perusahaan konstruksi. Berikut pengelompokkan data input dan output pada setiap proses unit Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) domestik

Tabel 1. Data Inventarisasi Input dan Output IPAL

Proses	Input	Jumlah	Output	Jumlah
Bak Equalisasi	Air Limbah	0,116 m ³	Air Limbah	0,116 m ³
	Listrik	3,2 kW	CO ₂	3,2 kg CO ₂
Bak Anaerobik - Aerobik	Air Limbah	0,116 m ³	CH ₄	0,0032 kg CH ₄
	Listrik	4 kW	N ₂ O	0,00096 kg N ₂ O
			CO ₂	4 kg CO ₂
			CH ₄	0,0040 kg CH ₄
Bak Sedimentasi	Air Limbah	0,116 m ³	N ₂ O	0,0012 kg N ₂ O
	Listrik	4 kW	Air Limbah	0,116 m ³
			CO ₂	4 kg CO ₂
			CH ₄	0,0040 kg CH ₄
Filtrasi	Air Limbah	0,116 m ³	N ₂ O	0,0012 kg N ₂ O
	Listrik	6 kW	Air Limbah	0,116 m ³
			CO ₂	6 kg CO ₂
			CH ₄	0,0060 kg CH ₄
Bak Klorinasi	Air Limbah	0,116 m ³	N ₂ O	0,0018 kg N ₂ O
	Listrik	0,096 kW	Air Limbah	0,116 m ³
			CO ₂	0,096 kg CO ₂
			CH ₄	0,000096 kg CH ₄
		N ₂ O	0,0012 kg N ₂ O	

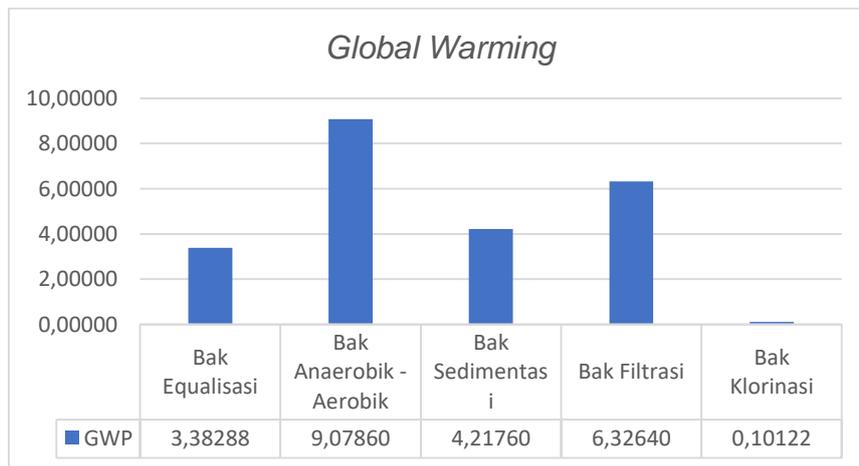
Interpretasi Life Cycle Impact Assessment OpenLCA 2.3.1

Terdapat alternatif cara untuk menganalisis LCA demi menampilkan sekaligus mengelompokkan beberapa dampak terhadap lingkungan pada setiap proses IPAL domestic, yakni melalui Life Cycle Assessment (LCAI). Dampak lingkungan dari proses IPAL dianalisis lewat software OpenLCA 2.3.1 dengan metode IMPACT 2002+. Dampak lingkungan yang dihasilkan selama proses IPAL domestik adalah *Global Warming* dan *Respiratory Organics*.



Gambar 2. Grafik Impact Analysis Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Domestik. Dari hasil analisis dengan menggunakan software OpenLCA, terdapat dua kategori dampak lingkungan yaitu Global Warming dan Respiratory Organics. Grafik impact pada Gambar 2. menunjukkan bahwa dampak tertinggi adalah Global Warming, berikut karakteristik dampak lingkungan oleh setiap kategori:

1. Dampak Global Warming (19,7238224 kg CO₂ eq)



Gambar 3. Perbandingan Dampak Global Warming Tiap Proses

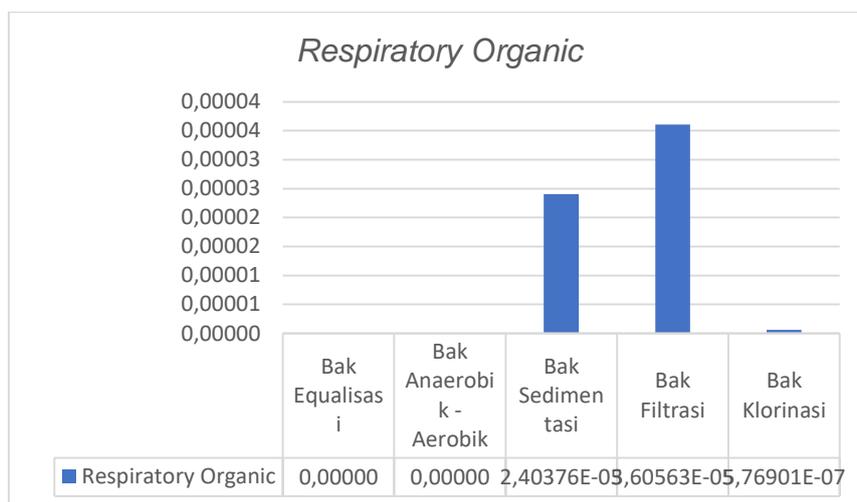
Potensi Pemanasan Global atau yang acap dikenal dalam istilah *Global Warming Potential* (GWP) merupakan nilai yang mengidentifikasi potensi tingkat kemungkinan pemanasan global berdasarkan tingkat emisi pada suatu sumber tertentu dalam rentang waktu tertentu (Nurunnissa & Aziz, 2020). Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, nilai global warming pada proses bak equalisasi adalah 3,38288 kg CO₂ eq, proses bak anaerobik-aerobik

sebesar 9,07860 kg CO₂ eq, proses bak sedimentasi sebesar 4,21760 kg CO₂ eq, proses bak filtrasi sebesar 6,32640 kg CO₂ eq, dan proses di bak klorinasi sebesar 0,10122 kg CO₂ eq.

Gambar 3 telah menunjukkan hasil grafik pada proses bak anaerob-aerob dengan global warming yang paling besar nilainya, yakni sebesar 9,07860 kg CO₂ eq. Hasil ini didapatkan karena terdapat hasil gas metana (CH₄) secara anaerob selama pelaksanaan pengolahan dalam tangki tersebut. Adapun gas metana dapat dijelaskan termasuk sebagai penyebab dari terjadinya pemanasan global, di mana selain CH₄, terdapat pula CO₂ sebagai gas yang dinilai signifikan dalam menyebabkan terjadinya potensi pada pemanasan global (Sucipto et al., 2023).

Pada bak anaerob-aerob juga menggunakan energi listrik untuk menjalankan pompa selama proses pengolahan air limbah. Emisi karbondioksida (CO₂) termasuk sebagai faktor pokok penyebab pemanasan global melalui adanya efek rumah kaca berdasarkan penggunaan atau konsumsi beban listrik (Febrina et al., 2021). Sehingga, bak anaerob-aerob menjadi unit proses yang menghasilkan dampak lingkungan berupa global warming terbesar.

2. Dampak Respiratory Organics (6,06708E-5 kg C₂H₄ eq)



Gambar 4. Perbandingan Dampak *Respiratory Organics* Tiap Proses

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai respiratory organics melalui proses bak sedimentasi sebanyak 2,40376E-5 kg C₂H₄ eq dan tangki filtrasi sebesar 3,60563E-5 kg C₂H₄ eq. dapat dilihat pada Gambar 4, selama proses tangki memiliki nilai respiratory organics paling besar yaitu sebesar 3,60563E-5 kg C₂H₄ eq. Hal ini menunjukkan bahwa daya listrik pompa filter sebesar 6 kWh di tahap filtrasi bisa berpengaruh terhadap kategori *respiratory organics* dalam hasil analisis dampak lingkungan. Timbulnya zat organik acap disebabkan oleh besar atau berlebihannya konsumsi listrik, khususnya yang perlu dipahami di Indonesia, pelaksanaan produksi listrik masih didasarkan oleh penggunaan batu bara sebagai bahan bakarnya. Sebab debu yang dihasilkan dari pembakaran batu bara dinilai cukup signifikan besarnya.

Interpretasi

Berdasarkan penggunaan program OpenLCA diperoleh hasil analisis bahwa penyebab utama terjadinya emisi yang mengakibatkan pemanasan global dalam hal ini adalah produksi gas metana (CH₄), CO₂ biogenik, dan N₂O. Masing-masing unit instalasi pengolahan secara

signifikan menghasilkan serangkaian emisi tersebut melalui aktivitas mikroorganisme di dalamnya. Selain itu, operasional pompa yang mengonsumsi listrik juga menghasilkan sumber emisi lainnya berupa CH₄ fosil ataupun CO₂ fosil, yang dihasilkan lewat produksi energi listrik yang masih menggunakan bahan bakar fosil di dalamnya.

Dampak lingkungan respiratory organics juga turut dihasilkan, sebagai akibat dari emisi yang berpotensi merusak sistem pernafasan manusia. Dampak tersebut, dalam tingkat paling signifikan dihasilkan oleh proses bak filtrasi ketika dibandingkan beberapa proses yang lain. Sehingga ketika terjadi konsumsi listrik yang berlebihan akan sangat berpotensi mengganggu kesehatan akibat besar kemungkinan zat organik yang terhirup. Hal ini dikarenakan penggunaan bahan bakar utama di Indonesia yang masih bergantung pada batu bara. Jumlah emisi yang dihasilkan dari pembakarannya adalah polusi yang cukup signifikan.

Rekomendasi Perbaikan

Dengan mengacu dari hasil analisis dengan metode Life Cycle Assessment (LCA), terdapat beberapa rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan untuk IPAL Domestik pada perusahaan konstruksi dapat berjalan dengan lebih efisien, ramah lingkungan, serta berkelanjutan. Adapun rekomendasi perbaikan yang dapat diajukan mencakup:

1. Mengelola lumpur yang dihasilkan selama proses anaerob-aerob dengan baik dengan digestasi anaerob untuk mengolah gas metana

Mengelola lumpur yang dihasilkan selama proses anaerob-aerob dengan baik dapat dilakukan melalui digestasi anaerob, di mana mikroorganisme anaerob mengurai bahan organik dalam lumpur dan menghasilkan gas metana (CH₄), yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan. Setelah proses digestasi anaerob, lumpur yang tersisa atau sludge masih memerlukan pengolahan lebih lanjut. Lumpur sisa ini dapat diproses lebih lanjut dengan melalui *dewatering* (pengurangan kadar air) atau komposting, untuk mencegah pembentukan metana lebih lanjut. Proses *dewatering* dan pengelolaan lumpur yang baik dapat mengurangi potensi pembentukan gas metana. Selain itu, unsur hara yang terkandung dalam lumpur sebagai produk samping yang dihasilkan dari proses pengolahan anaerobik berpotensi untuk dijadikan kompos. Diharap melalui hasil tersebut akan meminimalisasi dampak global warming dan respiratory organics pada proses pengolahan

2. Peningkatan pemantauan dan pemeliharaan sistem

Melakukan pemantauan secara rutin terhadap unit – unit pengolahan air limbah, termasuk pengukuran emisi metana, untuk memastikan sistem bekerja secara efisien dan metana dapat terkumpul atau dimanfaatkan dengan optimal. Secara berlaka, perlu dilakukan pemantauan rutin terhadap unit pengolahan instalasi air. Sehingga akan dapat membantu optimalisasi operasional sarana pendukung unit instalasi, sekaligus menghindarkan terjadinya kemungkinan kerusakan yang membuat jalannya proses pengolahan terhambat.

KESIMPULAN

Berikut merupakan beberapa kesimpulan yang dapat disampaikan dalam penelitian ini:

1. Proses analisis terhadap dampak lingkungan selama proses IPAL di perusahaan konstruksi secara *gate to gate* menggunakan metode LCA dan software OpenLCA melalui IMPACT 2002+. Adapun dampak lingkungan dalam IPAL pada perusahaan konstruksi meliputi dua kategori dampak lingkungan yaitu Global Warming dan Respiratory Organics. Pada dampak lingkungan Global Warming menghasilkan sebanyak 19,7238224 kg CO₂ eq dan Respiratory Organics menghasilkan sebanyak 6,06708E-5 kg C₂H₄ eq.

2. Berdasarkan hasil analisis, didapati bahwa proses bak anaerob-aerob menghasilkan dampak pemanasan global yang paling besar, yakni 9,07860 kg CO₂ eq. Dampak global warming pada unit bak anaerob-aerob disebabkan munculnya gas metana (CH₄) yang dihasilkan selama proses berlangsung serta penggunaan energi Listrik dalam menjalankan pompa ikut andil dalam memicu global warming. Selain itu didapati hasil bahwa proses filtrasi mendatangkan dampak lingkungan Respiratory Organics yang paling besar, yakni 3,60563E-5 kg C₂H₄ eq. Hal ini menunjukkan bahwa daya listrik pompa filter sebesar 6 kWh di tahap filtrasi bisa berpengaruh terhadap kategori *respiratory organics* dalam hasil analisis dampak lingkungan.
3. Rekomendasi yang memungkinkan diberikan bagi perusahaan konstruksi guna memperbaiki dan meminimalisasi dampak sebagaimana telah dijelaskan yaitu melalui operasi IPAL, yang di antaranya seperti mengelola lumpur yang dihasilkan selama proses anaerob-aerob dengan baik dengan digestasi anaerob untuk mengolah gas metana serta melakukan peningkatan pemantauan dan pemeliharaan sistem

DAFTAR PUSTAKA

- Athirafitri, N., Indrasti, N., & Ismayanan, A. (2021). Analisis dampak pengolahan hasil perikanan menggunakan metode life cycle assessment (lca): studi literatur. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 274–282.
- Astuti, Arieyanti Dwi. (2019). Analisis potensi dampak lingkungan dari budidaya tebu menggunakan pendekatan life cycle assessment (lca) potential analysis of environmental impact of sugarcane plantation using life cycle assessment (lca) approach. In *Jurnal Litbang (Issue 1)*
- Febrina, L., Wahyudi, D., & Dwi Harki, R. (2021). KAJIAN EMISI CO₂ BERDASARKAN JEJAK KARBON SEKUNDER DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS SAHID JAKARTA STUDY OF CO₂ EMISSIONS BASED ON THE SECONDARY CARBON FOOTWEAR IN THE ENVIRONMENT OF SAHID UNIVERSITY JAKARTA. In *Universitas Sahid Jakarta*.
- Hanugrah Sinedyo Yekti dan Mohammad Mirwan. (2021). 131-Article Text-212-1-10-20230812 (1). *JURNAL ENVIROUS, 1*.
- 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
- Nurunnissa, S., & Aziz, R. (2020). Kajian dampak lingkungan sistem pengelolaan sampah di kawasan wisata Pantai Pariaman menggunakan metode Life Cycle Assessment. *Jurnal Teknologi Dan Inovasi Industri, 01(02)*, 6–011.
- Pratiwi, S. W., Qotrunada, S., & Nisa, Z. (2023). *Life Cycle Assessment (LCA) Proses Pengolahan Air Limbah Domestik di Perusahaan Galangan Kapal*. <http://enviro.us.unj.ac.id/>
- Sucipto, A., Brilliantina, A., Kurnia Novita Sari, E., Wijaya, R., Triardianto, D., Adhamatika, A., Studi Keteknik Pertanian, P., Teknologi Pertanian, J., Negeri Jember, P., & Studi Teknologi Industri Pangan, P. (2023). *Rancang Bangun Alat Deteksi Dan Pengukur Gas Emisi Karbondioksida (CO₂) Dan Gas Emisi Metana (CH₄) Berbasis Mikrokontroler* (Vol. 2, Issue 1).
- Sumiyati, Sri., Sutrisno, Endro., Sudarno., & Wicaksono, Fadhil. (2023). Pengolahan Air Limbah Domestik dengan Teknologi Hybrid Bioreaktor Biofilm – Fitoremedias. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, Vol. 21(2), 403-407
- Yudha, A., Abdu, D., & Assomadi, F. (n.d.). *KAJIAN DAMPAK EMISI UDARA PADA PRODUKSI MINYAK BUMI DI PERUSAHAAN "A" MENGGUNAKAN METODE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AIR EMISSIONS ON PETROLEUM PRODUCTION IN COMPANY "A" USING THE LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD*.