

Life Cycle Assessment (LCA) sebagai Strategi Mitigasi Dampak Lingkungan dari Pengelolaan Sampah di Industri Kimia

Zain Khoirul Ihza¹, Tanti Utami Dewi^{1*}, dan Ahmad Erlan Afiuddin¹

¹²³Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111

*E-mail: tanti.dewi@ppns.ac.id

Abstrak

Industri kimia berpotensi mencemari lingkungan akibat peningkatan produksi oleh permintaan konsumen. Pencemaran lingkungan dapat diakibatkan dari proses pengelolaan limbah salah satunya dari proses pengelolaan sampah. Potensi pencemaran dari proses pengelolaan sampah pada industri kimia dapat menghasilkan dampak lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak lingkungan serta memberikan mitigasi dari dampak yang dihasilkan. Pendekatan yang digunakan yaitu *Life Cycle Assessment (LCA)* dengan *software OpenLCA 1.11.0* dengan metode *CML IA-Baseline Database* yang digunakan dalam running LCA yaitu database ELCD. Penilaian daur hidup (LCA) yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan terdiri dari 4 tahapan sesuai dengan SNI ISO 14040 (2016). Berdasarkan hasil analisis LCA proses pengelolaan sampah dihasilkan 2 kategori dampak yaitu *photochemical oxidation* dan *global warming*. Kategori dampak tersebut memiliki nilai *hotspot* yaitu dari dampak *Global Warming* senilai $7,32 \times 10^{-11}$ kg CO₂ eq. Alternatif mitigasi yang dapat direkomendasikan yaitu pengomposan dengan drum komposter aerobik, pengomposan dengan *composter bag*, dan penerapan program 3R sampah.

Keywords: *CML IA-Baseline, Dampak Lingkungan, Life Cycle Assessment, OpenLCA 1.11.0, Proses Pengelolaan Sampah*

1. PENDAHULUAN

Industri kimia memiliki potensi besar dalam menghasilkan limbah, baik dari kegiatan produksi maupun kegiatan penunjang. Tingginya ketergantungan terhadap produk kimia dan meningkatnya permintaan konsumen mendorong peningkatan skala produksi. Meskipun produk kimia memberikan manfaat melalui perdagangan dan penggunaannya, proses produksinya juga dapat menimbulkan dampak negatif yang merugikan lingkungan. Peningkatan aktivitas produksi tersebut menyebabkan tingginya volume limbah yang dihasilkan. Hal ini berpotensi terhadap pencemaran lingkungan, khususnya dari sektor pengelolaan sampah (Nasikah, 2023).

Sektor pengelolaan sampah menyumbang sekitar 4% dari emisi gas rumah kaca melalui peningkatan jumlah timbulan yang dihasilkan (Febrianti dkk., 2023). Sektor transportasi menjadi salah satu sektor penyumbang emisi GRK melalui aktivitas pengangkutan sampah ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Akumulasi emisi gas-gas seperti CO₂, CH₄, NO_x, dan CFC di atmosfer telah diidentifikasi sebagai penyebab utama terjadinya pemanasan global (Purnomoasri & Handayani, 2022). Tanpa adanya sistem pengelolaan yang terintegrasi dan berkelanjutan, intensitas emisi dari sektor ini diperkirakan akan terus meningkat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis seperti *Life Cycle Assessment (LCA)* untuk mengidentifikasi strategi pengurangan dan pengelolaan sampah yang efektif.

Penerapan LCA dalam sektor pengelolaan sampah pada industri kimia berperan penting dalam mengidentifikasi tahapan proses yang menghasilkan dampak lingkungan. Penilaian dampak lingkungan pada penelitian ini menggunakan metode *CML IA-Baseline*. Metode ini dipilih karena kategori dampak yang dihasilkan mencerminkan dampak lingkungan dari pengelolaan sampah (Erses Yay, 2015). Sedangkan *database* yang digunakan yaitu ELCD dikarenakan dapat digunakan secara *general* untuk seluruh dunia dan dipergunakan untuk semua proses (Recchioni dkk., 2012). Hasil dari penilaian ini dapat dijadikan acuan untuk melakukan aksi mitigasi yang efektif, sebagai upaya untuk meminimalkan dampak negatif yang ditimbulkan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada industri kimia yang berlokasi pada daerah Gresik. Data yang digunakan yaitu data primer dan sekunder yang memiliki rentang waktu selama 1 tahun pada tahun 2024. Data primer didapatkan dari timbulan sampah dan hasil wawancara dari perusahaan. Sedangkan untuk data sekunder menggunakan pendekatan dari literatur maupun regulasi pemerintah. Adapun hasil perhitungan terkait emisi GRK dari kegiatan pengangkutan dan *landfill* dihitung berdasarkan IPCC (2006).

Penilaian daur hidup (LCA) yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan terdiri dari 4 tahapan sesuai dengan SNI ISO 14040 (2016). Tahapan tersebut yaitu (1) Penentuan *Goal and Scope*, yaitu penentuan

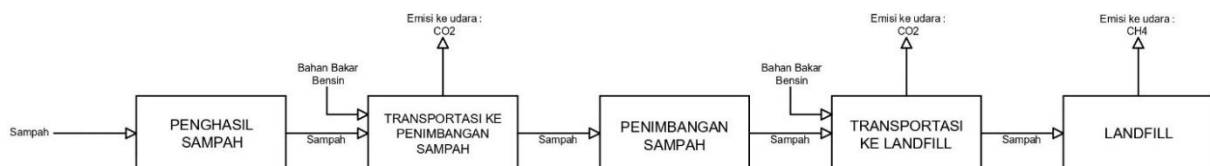
tujuan dan ruang lingkup, (2) *Life Cycle Inventory*, yaitu proses pengumpulan data, (3) *Life Cycle Impact Assessment*, yaitu penilaian dampak lingkungan dan (4) *Interpretation*, yaitu interpretasi hasil dan penarikan kesimpulan. Penelitian yang dilakukan menggunakan *software OpenLCA 1.11.0* dengan metode CML IA-Baseline.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengelolaan sampah pada industri kimia dilakukan mulai dari sumber sampah sampai proses penimbunan (*landfill*). Sumber sampah dari perusahaan berasal dari produksi, kantor, taman, dan fasilitas penunjang lainnya. Kegiatan proses yang menghasilkan emisi GRK berasal dari proses pengangkutan sampah menuju ke *landfill* dan proses penimbunan (*landfill*). Emisi yang dihasilkan yaitu emisi karbon dioksida (CO₂) dan (CH₄). Kajian LCA yang dilakukan menggunakan *software OpenLCA 1.11.0* dengan metode CML IA-Baseline. Hasil dari analisis *software* akan teridentifikasi nilai dampak lingkungan yang dihasilkan dan menunjukkan dampak terbesar (*hotspot*) dari proses pengelolaan sampah.

Goal and Scope

Tahapan awal dalam metode LCA yaitu penentuan *goal and scope*. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis dampak lingkungan dari proses pengelolaan sampah serta memberikan rekomendasi mitigasi dari dampak lingkungan yang dihasilkan. Sedangkan *scope* dari kajian LCA proses pengelolaan sampah yaitu *cradle to grave*. Kegiatan proses tersebut yaitu penghasil sampah, transportasi ke penimbangan sampah, penimbangan sampah, transportasi ke *landfill*, dan *landfill*. Unit fungsi yang digunakan pada proses pengelolaan sampah yaitu 1 kg dari hasil timbulan sampah. Sehingga hasil dampak lingkungan yang dihasilkan merupakan dampak dari setiap 1 kg timbulan sampah dari proses pengelolaan sampah. Ruang lingkup kajian LCA dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ruang Lingkup Penelitian

Life Cycle Inventory (LCI)

Tahapan LCI proses pengelolaan sampah membutuhkan data *input* dan *output* setiap kegiatan proses. Pada penelitian ini menggunakan data timbulan sampah pada tahun 2024. Data kajian didapatkan dari wawancara pihak kebersihan dan departemen PGA perusahaan. Data tersebut didapatkan dari monitoring penimbangan sampah di TPA sampah selama 2 minggu dan diakumulasikan sebagai data tahunan. Setelah semua data didapatkan, data tersebut akan diolah menggunakan *software OpenLCA 1.11.0* sehingga dampak lingkungan yang dihasilkan merupakan akumulasi dampak selama satu tahun. Hasil inventarisasi proses pengelolaan sampah pada setiap kegiatan proses dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Inventory Data Proses Pengelolaan Sampah

Unit Kegiatan	Input - Output	Material/Komponen	Kuantitas	Satuan
Penghasil Sampah	Input	Sampah	2.55	ton
	Output	Sampah	2.55	ton
Transportasi Ke Penimbangan Sampah	Input	Sampah	2.55	ton
		Bahan Bakar Bensin	3.16	liter
	Output	Sampah	2.55	ton
Penimbangan Sampah	Emisi	CO ₂	0.007	ton
	Input	Sampah	2.55	ton
Transportasi Ke Landfill	Output	Sampah	2.55	ton
		Sampah	2.55	ton
Transportasi Ke Landfill	Input	Sampah	2.55	ton
		Bahan Bakar Bensin	0.9	liter

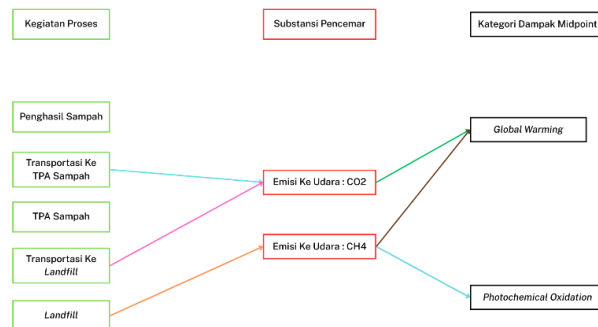
Unit Kegiatan	Input - Output	Material/Komponen	Kuantitas	Satuan
Landfill	Output	Sampah	2.55	ton
	Emisi	CO ₂	0.00	ton
	Input	Sampah	2.55	ton
	Emisi	CH ₄	2.78	ton

Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Penilaian dampak pada kajian proses pengelolaan sampah menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan *database* ELCD. Sedangkan metode yang digunakan yaitu CML IA-Baseline. Berdasarkan hasil running dihasilkan dua kategori dampak pada proses pengelolaan sampah.

a. Classification

Klasifikasi adalah proses mengelompokkan data hasil life cycle inventory ke dalam kategori dampak lingkungan yang relevan. Dalam penelitian ini klasifikasi dilakukan berdasarkan unit proses serta kategori dampak lingkungan. Skema proyeksi dan pemetaan dampak yang diperoleh melalui analisis menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 menggambarkan keterhubungan antara tahapan LCIA dengan hasil dari LCI. Skema proyeksi klasifikasi dapat dilihat pada Gambar 2.

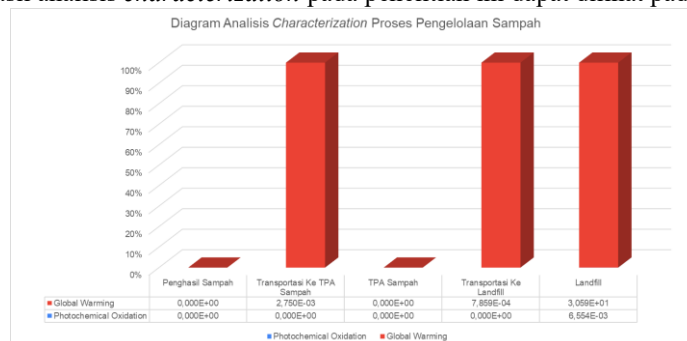


Gambar 2. Classification Proses Pengelolan Sampah

Berdasarkan Gambar 1.b, hasil klasifikasi menunjukkan bahwa kategori dampak *photochemical oxidation* berasal dari emisi CH₄ yang dihasilkan dari proses *landfill*. Sedangkan untuk kategori dampak *global warming* berasal dari emisi CO₂ dan CH₄ yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar kendaraan pengangkut dan proses *landfill*.

b. Characterization

Karakterisasi adalah tahapan penilaian kontribusi dampak yang telah ditentukan berdasarkan hasil input dan output sesuai dengan metode serta database yang digunakan. Tahap ini akan menganalisis kontribusi dampak suatu produk atau kegiatan pada setiap kategori dampak. Berdasarkan hasil running menggunakan *software* OpenLCA 1.11.0 dengan metode CML IA-Baseline, dihasilkan sebanyak 2 kategori dampak pada proses pengelolaan sampah. Hasil analisis *characterization* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



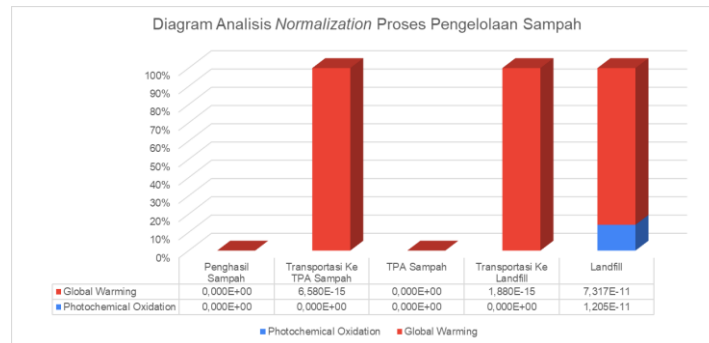
Gambar 3. Diagram Analisis Characterization Proses Pengelolan Sampah

Berdasarkan Gambar 1.c, Kategori dampak *photochemical oxidation* dihasilkan dari proses *landfill*. Nilai kontribusi dampak dari kegiatan proses *landfill* memiliki nilai dampak $6,554 \times 10^{-3}$ kg C₂H₄ eq/kg. Sedangkan, kontribusi dampak *global warming* terbesar berasal dari kegiatan proses *landfill* dengan nilai dampak $3,059 \times 10^1$ kg CO₂ eq/kg. Dampak *global warming* berasal dari parameter CH₄ yang dihasilkan dari proses *landfill*. Hal ini

disebabkan karena tingginya emisi CH_4 dari proses penimbunan sampah.

c. Normalization

Normalisasi adalah proses menghitung nilai indikator dalam kategori relatif terhadap informasi acuan yang ditetapkan (ISO 14044, 2017). Tahap normalisasi juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik *hotspot* atau unit proses yang memberikan kontribusi dampak paling signifikan terhadap lingkungan. Hasil analisis *normalization* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram analisis *normalization* proses pengelolaan sampah

Interpretation

Tahap interpretasi merupakan fase akhir dalam analisis daur hidup yang bertujuan untuk menarik kesimpulan, memberikan rekomendasi, serta mendukung pengambilan keputusan (ISO 14044:2017). Tahap interpretasi pada penelitian ini terdiri dari analisis *hotspot* dan aksi mitigasi. Tahap interpretasi dilakukan melalui identifikasi isu utama yang diperoleh dari hasil analisis pada tahap LCI dan LCIA. Hasil LCIA pada setiap unit proses dianalisis berdasarkan kategori dampaknya untuk mengidentifikasi proses dengan kontribusi dampak terbesar atau *hotspot*.

a. Analisis Hotspot

Analisis *hotspot* dilakukan dengan mengidentifikasi titik-titik dalam sistem yang memberikan kontribusi dampak paling signifikan. Titik tersebut terbagi menjadi unit proses, kategori dampak, dan substansi pencemar dengan nilai kontribusi tertinggi dalam proses pengelolaan sampah. Hasil analisis nilai normalisasi digunakan sebagai acuan untuk penentuan *hotspot* berdasarkan kategori dampak.

Berdasarkan Gambar 1.d, nilai normalisasi paling besar yaitu kegiatan *landfill* sebesar $8,522 \times 10^{-11}$. Sedangkan untuk dampak paling besar yaitu dampak *global warming* sebesar $7,318 \times 10^{-11}$. Berdasarkan hasil analisis, kegiatan *landfill* dan kategori dampak *global warming* menjadi *hotspot* dikarenakan menjadi penyumbang nilai terbesar dari proses pengelolaan sampah. substansi pencemar terbesar dari kategori dampak *global warming* yaitu emisi CH_4 dengan persentase sebesar 100 % dari kegiatan proses *landfill*.

b. Aksi Mitigasi

Berdasarkan hasil analisis hotspot, dapat diketahui bahwa titik hotspot berasal dari dampak global warming dengan substansi pencemar CH_4 . Maka dari itu, perlu diberikan rekomendasi perbaikan atau aksi mitigasi yang bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari proses pengelolaan sampah. Rekomendasi perbaikan yang dapat diberikan antara lain:

1. Pengomposan dengan Drum Komposter Aerobik

Pengomposan aerobik adalah proses penguraian bahan organik dengan bantuan mikroorganisme yang membutuhkan oksigen. Media yang digunakan dapat berupa tong atau bak dengan sirkulasi udara yang baik. Metode pengomposan aerobik ini memiliki kesamaan dengan metode Takakura (Akbari & Khadijah, 2024). Pengomposan dengan drum komposter aerobik digunakan untuk mengolah sampah organik terutama dedaunan. Volume yang akan dikomposkan sebesar 30% dengan menyesuaikan kondisi ideal pada regulasi. Pemanfaatan sampah dengan pengomposan memiliki emisi GRK yang dibandingkan rendah penimbunan sampah pada TPA sampah (Fillingham dkk., 2017).

2. Pengomposan dengan Composter Bag

Pengomposan dengan menggunakan *composter bag* merupakan salah satu bentuk penerapan metode pengomposan aerobik yang praktis, murah, dan ramah lingkungan. Metode ini mempercepat proses pengomposan, mudah dipantau, dan menghasilkan kompos berkualitas tinggi, sehingga sangat direkomendasikan untuk pengelolaan sampah organik di lahan terbatas (Pratiwi dkk., 2024). Pengomposan dengan *composter bag* digunakan untuk mengolah sampah organik terutama dedaunan. Volume yang akan dikomposkan sebesar 30% dengan menyesuaikan kondisi ideal pada regulasi. Pengomposan dengan *composter bag* mampu mengurangi emisi gas rumah kaca (Vavrková dkk., 2020).

3. Penerapan Program 3R Sampah

Penerapan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) merupakan salah satu strategi mitigasi yang bertujuan untuk

mengurangi timbulan sampah dari sumbernya (Ayuningtyas, 2019). Konsep program 3R sampah ini sama dengan konsep pengelolaan sampah yaitu pengurangan dan penanganan sampah. Melalui pendekatan 3R, volume sampah yang harus ditangani dapat ditekan secara signifikan, sekaligus mengurangi beban terhadap TPA sampah (Viantikasari dkk., 2019). Penerapan program 3R merupakan program yang mudah dilakukan serta membutuhkan dukungan dari semua pekerja industri.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis LCA pada proses pengelolaan sampah pada Industri Kimia menggunakan *software OpenLCA 1.11.0*, dihasilkan 2 kategori dampak yaitu *photochemical oxidation* dan *global warming*. Titik *hotspot* pada proses pengelolaan sampah terletak pada unit *landfill* dengan kategori dampak terbesar adalah *global warming*. Aksi mitigasi yang direkomendasikan yaitu pengomposan dengan drum komposter aerobik, pengomposan dengan *composter bag* dan penerapan program 3R sampah.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2016. SNI ISO 14040: 2016 tentang Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Prinsip dan Kerangka Kerja. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI ISO 14044: 2017 tentang Manajemen Lingkungan – Penilaian Daur Hidup – Persyaratan dan Panduan – International Standard ISO 14044. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Akbari, T., & Khadijah, A. (2024). Pengolahan Sampah Organik Rumah Tangga Menggunakan Komposter Aerobik Household Organic Waste Treatment Using the Aerobic Composter. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(2), 196–203.
- Ayuningtyas, R. A. (2019). Penerapan Prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) dalam Pengelolaan Sampah di Restoran Cepat Saji KFC Yogyakarta dalam Era Go Food (Studi Kasus Restoran Cepat Saji KFC Sudirman). 1 – 23.
- Erses Yay, A.S. (2015). *Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: A case study of Sakarya*. *Journal of Cleaner Production*, 94, pp. 284–293.
- Febrianti, N. dkk. (2023). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) pada Pengelolaan Sampah Organik (Studi Kasus: ITF Kota Hijau Balikpapan), *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 15(2), pp. 106–120.
- Fillingham, M. A., VanderZaag, A. C., Burt, S., Baldé, H., Ngwabie, N. M., Smith, W., Hakami, A., Wagner-Riddle, C., Bittman, S., & MacDonald, D. (2017). Greenhouse Gas and Ammonia Emissions from Production of Compost Bedding on A Dairy Farm. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 70, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.013>
- IPCC (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol 2 Chapter 2.3: Mobile Combustion*. pp. 1–78. Available at: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Nasikah, A., Afiuddin, A.E. & Sophia, A.V. (2023). Identifikasi Sumber Emisi dan Estimasi Beban Emisi Menggunakan Metode Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) dan Atmospheric Brown Cloud (ABC) Emission Inventory. *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology Program*, (2623), pp. 1–6.
- Pratiwi, G. E., Fikri, M., & Budiwitjaksono, G. S. (2024). Pemanfaatan Sampah Organik Rumah Tangga Dalam Pengelolaan Kompos Menggunakan Compost Bag Di Lingkungan Kelurahan X Kota Surabaya. 3(1), 281–285.
- Purnomoasri, R. D., & Handayani, D. (2022). Analisis dan Mitigasi Emisi Gas Buang Akibat Transportasi (Studi Kasus Kabupaten Magetan). *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, 24(1), 29.
- Recchioni, M., Mathieux, F., Goralczyk, M., & Schau, E. M. (2013). *ILCD Data Network and ELCD Database - Current Use and Further Needs for Supporting Environmental Footprint and Life Cycle Indicator Projects*. In *Eur 25744* (Issue December).
- Vaverková, M. D., Adamcová, D., Winkler, J., Koda, E., Petrželová, L., & Maxianová, A. (2020). Alternative Method of Composting on A Reclaimed Municipal Waste Landfill in Accordance with The Circular Economy: Benefits and Risks. *Science of the Total Environment*, 723, 1–8.
- Viantikasari, M., Purwanto, P., & Budiardjo, M. A. (2019). The Study of Solid Waste Management to Extend the Lifetime of Sukoharjo Landfill, Pati Regency. *E3S Web of Conferences*, 125(201 9), 7–11.