

Analisis Dampak Lingkungan Manufaktur *Diaper Storage* dengan Menggunakan Metode *Life Cycle Assessment* (LCA)

Rahmad Firnandi¹, Tanti Utami Dewi^{1*}, Mirna Apriani¹

¹Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya 60111

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

Abstrak

Penggunaan termoplastik dalam proses manufaktur produk *Diaper Storage* berpotensi menimbulkan berbagai dampak lingkungan yang signifikan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dampak lingkungan manufaktur *Diaper Storage* dengan *Life Cycle Assessment* serta memberikan rekomendasi untuk menurunkan dampaknya. Metode karakterisasi untuk menganalisis dampak lingkungan yang digunakan adalah CML IA *baseline*. Ruang lingkup studi adalah *gate to gate*, mencakup seluruh aktivitas produksi *Diaper Storage* dari proses *mixing* hingga *packing*. Data dikumpulkan berdasarkan aktivitas produksi selama satu tahun dan diolah menggunakan perangkat lunak OpenLCA 4.2.1. *Database* yang digunakan adalah *European Reference Life Cycle Database* (ELCD) yang dikeluarkan *Joint Research Center* (JRC). Hasil kajian menunjukkan bahwa satu unit *Diaper Storage* berkontribusi terhadap terbentuknya 3,224 kg CO₂ eq yang menyebabkan *Global Warming Potential*. Unit yang memberikan kontribusi tertinggi terhadap dampak tersebut adalah proses injeksi 25 dengan substansi pencemar karbon dioksida (CO₂). Rekomendasi mitigasi yang dapat diterapkan adalah meningkatkan kualitas minyak hidrolik atau insulasi pada *barrel*.

Kata kunci: CML-IA, Termoplastik, *Injection*, Insulasi, *Barrel*

1. PENDAHULUAN

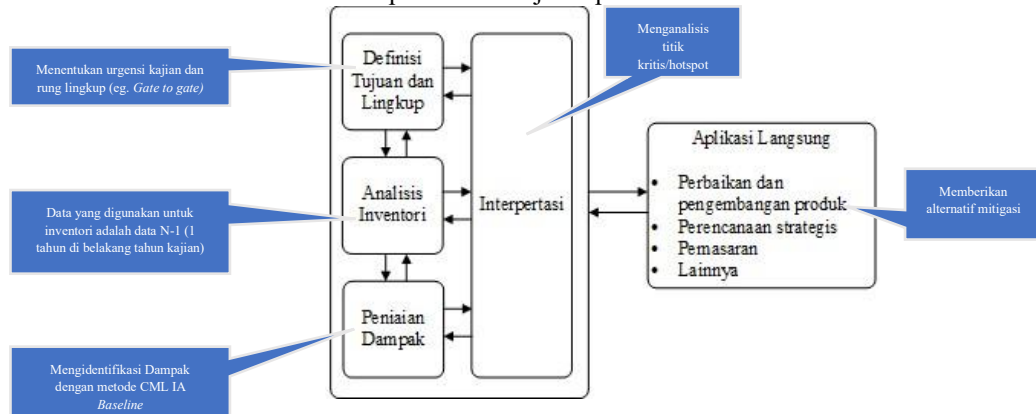
Plastik menjadi salah satu bahan yang tidak terpisahkan dari kehidupan masyarakat modern. Hal ini terjadi karena plastik memiliki karakteristik ringan, fleksibel, dan biaya produksinya yang relatif rendah jika dibandingkan dengan bahan lain. Penggunaan plastik berkembang pesat dan kini menjadi material utama di berbagai sektor industri seperti kemasan, otomotif, elektronik, dan *home appliances* (Masdiana *et al.*, 2023). Plastik penyusun suatu produk umumnya berjenis *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Poly Propylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan *Polycarbonate* (PC) (Bill *et al.*, 2022). Salah jenis plastik yang umum digunakan sebagai penyusun suatu produk adalah termoplastik. Termoplastik adalah material yang meleleh jika dipanaskan dan mengeras ketika didinginkan (Zanchin *et al.*, 2021). Banyak produk yang ditemui di kehidupan sehari-hari yang bahan penyusunnya dari termoplastik seperti benda pakai, kemasan, alat kebersihan, dan lain-lain (Masdiana *et al.*, 2023). *Diaper Storage* adalah salah satu produk yang penyusunnya terdiri dari termoplastik. *Diaper Storage* dibuat dengan menggunakan termoplastik dan pewarna, dan energi untuk mendukung prosesnya. Maka dari itu manufaktur *Diaper Storage* atau produk berbahan termoplastik dapat menyebabkan dampak lingkungan (Sutanto *et al.*, 2022).

Produk berbahan termoplastik dapat menyebabkan dampak lingkungan yaitu Asidifikasi, Eutrofikasi, *Ecotoxicity*, *Photochemical Ozone Formation*, *Ozone Depletion*, dan emisi GRK (Levesque *et al.*, 2022). Dampak tersebut dapat mengganggu ekosistem dan memberikan dampak buruk terhadap kesehatan manusia. Asidifikasi sebagai salah satu dampak lingkungan bertanggung jawab sebagai penyebab pengasaman pada perairan (Umar *et al.*, 2025). Beragamnya dampak lingkungan yang dihasilkan dari manufaktur produk yang berbahan termoplastik membuat kajian terhadap prosesnya perlu untuk dilakukan guna menghindari masalah lingkungan.

Metode *Life Cycle Assessment* (LCA) secara luas telah diakui internasional sebagai pendekatan yang sah dan terpercaya dalam mengukur dampak lingkungan suatu proses secara kuantitatif. Metode karakterisasi yang digunakan dalam kajian ini adalah CML-IA, yang dikembangkan oleh *Centre for Environmental Science* Universitas Leiden, Belanda. Penggunaan *midpoint* CML-IA dalam penerapan LCA dipilih karena jenis kategori dampaknya diterima secara internasional dan mampu menyajikan dampak yang spesifik. Penelitian ini juga memberikan rekomendasi aksi mitigasi guna menurunkan dampak lingkungan yang disebabkan oleh manufaktur *Diaper Storage*.

2. METODE

Penyusunan kajian dampak lingkungan menggunakan data selama satu tahun proses produksi *Diaper Storage*. Terdapat empat tahapan utama dalam melakukan kajian yaitu *Goal and Scope*, *Life Cycle Inventory*, *Life Cycle Impact Assessment*, dan *Interpretation*. Standar yang mengatur mengenai *Life Cycle Assessment* adalah ISO: 14041 tentang *Inventory*, *Goal and Scope* serta ISO:14040 tentang *Impact Assessment*. Standar yang mengatur Interpretasi LCA adalah ISO: 14043. Skemastis tahapan LCA disajikan pada Gambar 1.

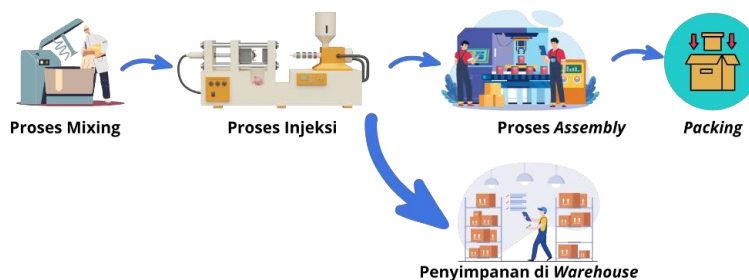


Gambar 1. Tahapan Analisis *Life Cycle Assessment*

Tujuan dilakukannya kajian LCA adalah untuk menganalisis jenis dan nilai dampak yang dihasilkan dari manufaktur *Diaper Storage*. Ruang lingkup kajian adalah *gate to gate* yang berfokus melakukan analisis dampak yang dihasilkan dari proses manufaktur di dalam pabrik. *Inventory* dilakukan dengan menginputkan data-data seperti beban emisi, kapasitas produksi, alur proses produksi, dan konsumsi energi. Penilaian dampak atau LCIA dilakukan untuk menganalisis jenis dan nilai dampak yang dihasilkan. Interpretasi bertujuan untuk menganalisis titik kritis berdasarkan jenis dampak, unit proses, dan substansi pencemarnya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat lima proses atau tahapan dalam Manufaktur *Diaper Storage*. Tahapan yang pertama adalah proses *mixing* yaitu pencampuran termoplastik dan *pigment*. Proses *mixing* berlangsung secara *batch* dengan durasi 5 menit setiap satu kali proses pengadukan. Visualisasi skematis proses produksi *Diaper Storage* ditampilkan pada Gambar 2.

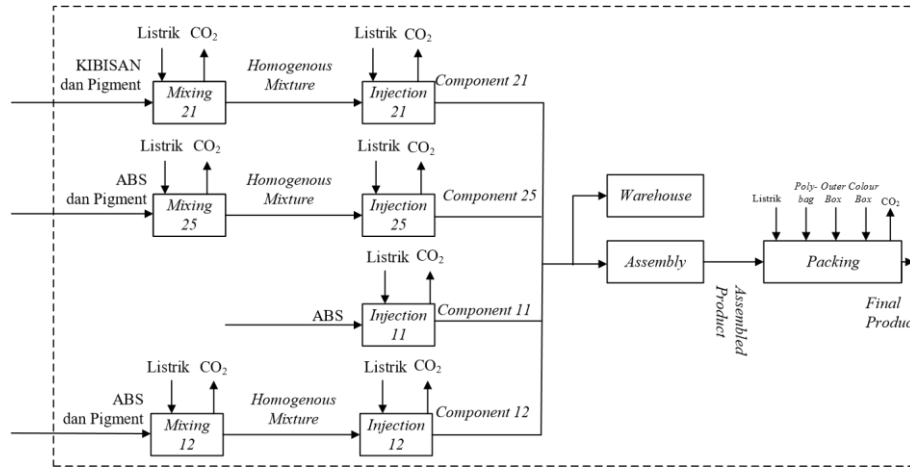


Gambar 2. Alur Proses Manufaktur *Diaper Storage*

Proses *mixing* tidak membutuhkan air dikarenakan adanya kelembapan akan meningkatkan konsumsi energi dan menyebabkan termoplastik menjadi rapuh saat keluar dari mesin injeksi (Ma *et al.*, 2024). Gambar di atas menunjukkan bahwa alur proses produksi setelah *mixing* adalah Injeksi. *Injection Molding* adalah metode produksi yang digunakan untuk menghasilkan komponen-komponen yang kecil dan rumit. Produksi *Diaper Storage* menggunakan 4 jenis *molding* dengan tiap mesin *injection* mempunyai *mold*, *power*, dan kapasitas yang berbeda-beda. Proses injeksi berlangsung pada suhu 86°C. Kelebihan proses injeksi adalah komponen yang dihasilkan dari cetakan memiliki akurasi yang tinggi baik dari aspek dimensi maupun bentuknya (Kurasov, 2022). *Output* produk dari proses injeksi kemudian masuk ke proses *assembly* untuk dirakit, kemudian sebagian komponennya disimpan untuk persediaan di *warehouse*. Komponen *Work in Progress* (WIP) kemudian disatukan dan dikemas menggunakan *colourbox* sebelum dimasukkan ke dalam *outerbox*.

3.1 Menentukan *Goal and Scope*

Ruang lingkup atau *scope* dari kajian yang dilakukan adalah *gate to gate*. Jumlah proses yang terlingkup dalam kajian adalah 10 unit. Emisi yang dihasilkan dari proses *mixing*, *injection*, dan *packing* adalah CO₂. Jenis termoplastik yang digunakan adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS). Fokus kajiannya adalah menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan dari manufaktur *Diaper Storage*. Ruang lingkup manufaktur *Diaper Storage* yang dikaji ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ruang Lingkup Kajian Manufaktur *Diaper Storage*

3.2 Life Cycle Inventory

Periode data yang digunakan untuk analisis dampak lingkungan proses manufaktur *Diaper Storage* adalah tahun 2024. Seluruh data yang diperoleh seperti kapasitas produksi, emisi, alur proses, penggunaan bahan kimia, dan energi diinputkan ke dalam *software*. Salah satu contoh *inventory* pada unit proses Manufaktur *Diaper Storage* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Inventory pada Unit Proses *Spray*

Unit Kegiatan	Input-Output	Data Inventori	Satuan	Jumlah
Injection 21	Input	Homogenous Mixture 21	kg	16.955,568
		Listrik	MWh	54,194
	Output	Dudukan (Putih)	kg	16.955,57
		CO ₂	kg	47.148,78
Injection 25	Input	Homogenous Mixture 25	kg	17.916,768
		Listrik	MWh	69,972
	Output	Kotak Samping Kiri (Putih)	kg	9012,211
		Kotak Samping Kanan (Putih)	kg	8.904,557
Injection 11		CO ₂		60.875,64
	Input	Homogenous Mixture 11	kg	4.022,784
		Listrik	MWh	69,972
	Output	Storage Box (Transparant)	kg	934,2864
Injection 12		CO ₂	kg	5.899,992
	Input	Homogenous Mixture 12	kg	4.263,8832
		Listrik	MWh	11,2623
	Output	Tutup Dudukan (Putih)	kg	4.263,883
		CO ₂	kg	9.798,201

Emisi yang dihasilkan seluruhnya dilepaskan ke atmosfer dan tidak ada potensi air limbah yang dihasilkan karena prosesnya tanpa menggunakan air.

3.3 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Tahapan ketiga dalam LCA adalah *Life Cycle Impact Assessment* (LCIA). Penilaian dampak lingkungan atau LCIA merupakan tahapan lanjutan dari tahapan LCI. Terdapat dua tahapan dalam LCIA yaitu *Characterization* dan *Normalization*.

3.3.1 Characterization

Karakterisasi adalah proses identifikasi dan klasifikasi data *input* untuk analisis inventarisasi siklus hidup (Saffira *et al.*, 2023). Hasil dari tahapan ini adalah nilai dampak *Diaper Storage* tiap unit fungsi. Nilai Dampak per unit fungsi *Diaper Storage* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Dampak Lingkungan per Unit Fungsi *Diaper Storage*

Kategori Dampak	Satuan	Nilai
<i>Mixing 12</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,0007
<i>Mixing 21</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,0027
<i>Mixing 25</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,0029
<i>Injection 11</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,1535
<i>Injection 12</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,2548
<i>Injection 21</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	1,2263
<i>Injection 25</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	1,5833
<i>Assembly</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,0000
<i>Packing</i>	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	0,0001
Total	kg CO ₂ eq/1 pcs <i>Diaper Storage</i>	3,224

Dampak lingkungan yang dihasilkan oleh manufaktur *Diaper Storage* adalah *Global Warming Potential*. Satu buah *Diaper Storage* berkontribusi sebesar 3,224 kg CO₂ eq yang dilepaskan ke atmosfer. Penelitian yang dilakukan oleh Skytt *et al.*, (2020) menyatakan bahwa CO₂ merupakan salah satu penyebab terjadinya meningkatnya rata-rata suhu di permukaan bumi.

3.3.2 Normalization

Tahapan normalisasi merupakan tahapan yang mengkuantifikasi hasil karakterisasi dibagi dengan nilai normalisasi. Tahapan normalisasi ini dilakukan untuk memudahkan menentukan *hotspot*. Nilai normalisasi pada Manufaktur *Diaper Storage* ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Normalisasi per Unit Fungsi *Diaper Storage*

Unit Proses	Kategori Dampak	Total
	<i>Global warming (GWP100a)</i>	
<i>Mixing 12</i>	1,61E-17	1,61E-17
<i>Mixing 21</i>	6,46E-17	6,46E-17
<i>Mixing 25</i>	7,03E-17	7,03E-17
<i>Injection 11</i>	3,67E-15	3,67E-15
<i>Injection 12</i>	6,09E-15	6,09E-15
<i>Injection 21</i>	2,93E-14	2,93E-14
<i>Injection 25</i>	3,78E-14	3,78E-14
<i>Assembly</i>	0,00E+00	0,00E+00
<i>Packing</i>	3,52E-18	3,52E-18
Total	7,71E-14	7,71E-14

Unit yang memiliki nilai dampak tertinggi

3.3.3 Interpretasi

Interpretasi adalah menganalisis *hotspot* dari kajian yang dilakukan. Hasil kajian LCA menunjukkan titik kritis berdasarkan kategori dampak adalah *Global Warming Potential*. Unit yang berkontribusi terhadap dampak lingkungan tertinggi adalah *Injection 25* dengan substansi pencemar CO₂.

3.4 Rekomendasi Mitigasi

Dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses manufaktur *Diaper Storage* adalah *Global Warming Potential*. Dampak lingkungan tersebut disebabkan karena tingginya konsumsi energi listrik. Pilihan mitigasi yang dapat dipilih untuk menurunkan penggunaan listrik mesin injeksi adalah meningkatkan kualitas minyak hidrolik atau insulasi pada *barrel*. Peningkatan kualitas minyak hidrolik dapat diterapkan dengan cara meningkatkan indeks viskositas minyak hidrolik. Berdasarkan Mobil (2023) konsumsi energi dapat diturunkan 5,1% dan 50% dengan meningkatkan indeks viskositas minyak hidrolik dan insulasi pada *barrel*.

4. KESIMPULAN

Satu unit *Diaper Storage* memberikan kontribusi terhadap kategori dampak lingkungan berupa *global warming potential* (GWP100a) sebesar 3,224 kg CO₂ eq. Unit yang menjadi *Hotspot* adalah *Injection 25* dengan substansi pencemar berupa CO₂. Rekomendasi yang dapat diterapkan untuk menurunkan dampak lingkungan manufaktur *Diaper Storage* adalah meningkatkan kualitas minyak hidrolik atau insulasi pada *barrel*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Bill, A., Haarman, A., Gasser, M., Böni, H., Rösslein, M., & Wäger, P. A. (2022). *Characterizing plastics from large household appliances: Brominated flame retardants, other additives and density profiles*. Resources, Conservation and Recycling, 177.
- Kurasov, D. A. (2022). Injection Molding Technology. *Materials Research Proceedings*, 21, 251–254.
- Levesque, S., Robertson, M., & Klimas, C. (2022). A life cycle assessment of the environmental impact of children's toys. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 777–793.
- Ma, N., Dong, W., Qin, D., Dang, C., Xie, S., Wang, Y., Tian, H., Ouyang, Y., Jin, Y., Guo, G., & Kumar, R. (2024). *Green and renewable thermoplastic polyvinyl alcohol/starch blend film fabricated by melt processing*. International Journal of Biological Macromolecules, 279(July).
- Masdiana, Gusti, S., Asmeti, Rachman, R. M., Dendo, E. A. R., Ampangallo, B. A., & Aryadi, A. (2023). *Revolusi Plastik dan Lingkungan*. Tohar Media.
- Mobil. (2023). *An Energy Saving Guide for Plastic Injection Molding Machines A practical guide to energy saving by Produced by Applied Market Information in association with Tangram Technology An energy saving guide for plastic injection molding machines 2*.
- Saffira Arlisa Devi, & Mohammad Mirwan. (2023). *Analisis Life Cycle Assessment (LCA) pada Proses Produksi Pupuk ZA II Menggunakan Metode Recipe 2016*. INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi, 2(3), 620–632.
- Skytt, T., Nielsen, S. N., & Jonsson, B. G. (2020). *Global warming potential and absolute global temperature change potential from carbon dioxide and methane fluxes as indicators of regional sustainability – A case study of Jämtland, Sweden*. Ecological Indicators, 110(October 2019).
- Sutanto, H., & Rumende, K. (2022). *Life Cycle Assessment of Plastic Components in the Production of Automotive Filter*. Polish Journal of Environmental Studies, 31(3), 2851–2860.
- Umar, W., Vandenbussche, C., Dinuccio, E., Hongmin, D., & Amon, B. (2025). *Acidification of animal slurry in housing and during storage to reduce NH₃ and GHG emissions-recent advancements and future perspectives*. Waste Management, 203(114856).
- Zanchin, G., & Leone, G. (2021). *Polyolefin thermoplastic elastomers from polymerization catalysis: Advantages, pitfalls and future challenges*. Progress in Polymer Science, 113, 101342.