



Potensi Dampak Lingkungan Pengelolaan Sampah Domestik di Industri Galangan Kapal dengan Metode *Life Cycle Assessment*

Muhammad Ijlal Rafi¹ dan Syadzadhiya Qotrunada Zakiyayasin Nisa^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email Korespondensi : syadzadhiya.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 06-10-2023

Disetujui: 12-10-2023

Diterbitkan: 13-10-2023

Kata Kunci:

Industri Galangan Kapal, Life Cycle Assessment, pengelolaan sampah, sampah domestik

ABSTRAK

Salah satu industri galangan kapal di Kota Surabaya menghasilkan sampah sebanyak 3 ton/hari. Saat ini, pengelolaan sampah yang dilakukan cenderung langsung dibuang ke wadah sementara tanpa dilakukan pemilahan sehingga menyebabkan sampah tercampur di TPS. Kurangnya proses pemisahan sampah berdasarkan komposisinya memengaruhi perubahan lingkungan karena proses pengelolaan dan pengolahan tidak dilakukan dengan seharusnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi dampak lingkungan dengan membandingkan tiga skenario daur ulang sampah yang berhubungan dengan proses pengolahan sampah menggunakan *Life Cycle Assessment (LCA)*. Proses analisis data menggunakan *software OpenLCA* dengan metode *CML-IA Baseline*. Terdapat satu skenario eksisting dan dua skenario alternatif pengelolaan sampah, yaitu pengomposan dan *Anaerobic Digestion*. Hasil menunjukkan bahwa skenario 1 (eksisting) memiliki bobot sebesar $1,05 \times 10^{-10}$, skenario 2 sebesar $4,77 \times 10^{-11}$, dan skenario 3 sebesar $6,62 \times 10^{-11}$. Skenario 2 memiliki potensi dampak lingkungan yang kecil dilihat dari nilai pembobotannya yang rendah sehingga alternatif yang dapat dilakukan oleh industri galangan kapal adalah memilah sampah di sumbernya; melakukan pengomposan; mendistribusikan sampah untuk didaur ulang; serta mengumpulkan dan mengangkut sisa sampah yang ada ke TPA Benowo.

Received: 06-10-2023

Accepted: 12-10-2023

Published: 13-10-2023

Keywords:

domestic waste, Life Cycle Assessment, shipyard industry, waste management

ABSTRACT

One of the shipyard industries in Surabaya City produces 3 ton of waste per day. At present, waste management tends to be disposed of directly into temporary containers without segregation, causing waste to mix at temporary landfill. The lack of a waste separation process based on its composition affects environmental changes because the management and processing are not carried out properly. The purpose of this study is to determine the potential environment impact by comparing three scenarios of waste recycling related to waste processing using Life Cycle Assessment (LCA). Data analysis process uses OpenLCA software with CML-IA Baseline method. There is one existing scenario and two alternative scenarios for waste management, namely composting and anaerobic digestion process. The result show that scenario 1 (existing) has a weight of $1,05 \times 10^{-10}$, scenario 2 of $4,77 \times 10^{-11}$, and scenario 3 of $6,62 \times 10^{-11}$. Scenario 2 has a small potential environmental impact in terms of its low weighting value so that the alternative that can be applied in the shipyard industry is to sort waste at its source; composting; distributing waste to recycle; also collecting and hauling the rest of waste to Benowo Landfill.

1. PENDAHULUAN

Industri galangan kapal merupakan industri yang bergerak di bidang manufaktur dengan tujuan untuk pembuatan, perawatan, dan perbaikan kapal (Sari *et al.*, 2023). Dari hasil analisis, Salah satu industri galangan kapal yang berada di Kota Surabaya memiliki laju timbulan sampah domestik sebesar $3 \text{ m}^3/\text{hari}$. Dalam proses pengelolannya, sampah yang telah dikumpulkan di TPS akan dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Benowo, Surabaya.

Sistem pengelolaan dari adanya sampah domestik yang ada di salah satu industri galangan kapal ini relatif dibuang langsung ke dalam wadah sementara sebelum akhirnya diangkut ke TPS dalam keadaan tercampur. Di beberapa negara, pemisahan sampah domestik biasanya dilakukan untuk mengklasifikasikan jenis sampah yang nantinya berguna pada saat dilakukannya proses pengolahan selanjutnya. Misalnya di Jerman, pemilahan sampah dilakukan memang untuk mengelompokkan sampah yang dapat didaur ulang dan tidak dapat di daur ulang, serta sampah yang dapat dikompos.

US menfokuskan kepada jenis sampah seperti kertas, kaca, dan plastik untuk dapat di daur ulang (Yuan *et al.*, 2020).

Dalam mengatasi permasalahan sampah domestik yang tidak dipilah terlebih dahulu di industri ini, maka perlu dilakukan identifikasi dan membuat skenario pengelolaan sampah domestik dengan tujuan untuk mengetahui dampak lingkungan yang ditimbulkan dari proses pengelolaan sampah domestik selama beberapa tahun kedepan.

Dampak lingkungan dari suatu kegiatan dapat diketahui jumlahnya dengan menggunakan metode *Life Cycle Assessment (LCA)*. *Life Cycle Assessment* merupakan suatu metode dalam menentukan seluruh dampak lingkungan yang ditimbulkan dari suatu kegiatan dengan menginventarisasi variabel yang digunakan dan dibuang, produk sekunder, dan sumber daya yang digunakan. Pendekatan *Life Cycle Assessment (LCA)* melibatkan proses pengidentifikasian, perhitungan dampak, mengevaluasi hasil, dan perhitungan jumlah energi yang dikonsumsi, emisi yang dihasilkan, dan juga aspek lain yang berhubungan sepanjang siklus hidup dari suatu produk (R.K. Darman, 2020).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi dampak lingkungan dari pengelolaan sampah domestik industri galangan kapal, serta mengetahui skenario yang paling baik dengan dampak lingkungan yang kecil.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan analisis *Life Cycle Assessment (LCA)* dan mengukur data kuantitatif yang diperoleh dari sampah domestik yang dihasilkan, serta energi yang digunakan dan dilepas ke lingkungan selama proses pengolahan sampah tersebut. Ruang lingkup penelitian ini adalah *gate to gate* mulai dari dihasilkannya sampah di TPS sampai akhir ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA).

Penelitian akan dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data primer dan data sekunder, penentuan skenario alternatif pengelolaan sampah di TPS, pengolahan dan analisis data menggunakan *software OpenLCA* dengan metode *CML-IA Baseline* dan kesimpulan serta rekomendasi. Data diperoleh dari beberapa sumber dan perusahaan terkait.

Pada penelitian ini menentukan beberapa skenario untuk menjadi perbandingan, yaitu:

1. Skenario 1 (eksisting): pengelolaan sampah yang saat ini dilakukan oleh industri galangan kapal yaitu pengelolaan sampah yang relatif dibuang langsung ke tempat pewadahan sementara tanpa dilakukan pemilahan terlebih dahulu sebelum diangkut ke TPS.
2. Skenario 2: Pengolahan sampah organik menggunakan proses pengomposan dan melakukan daur ulang sampah melalui bank sampah.
3. Skenario 3: Pengolahan sampah organik menggunakan proses *Anaerobic Digestion* dan melakukan daur ulang sampah melalui bank sampah.

Setelah menentukan skenario, langkah-langkah penilaian dampak pada *software OpenLCA* adalah sebagai berikut:

- Klasifikasi Dampak
- Karakterisasi Dampak
- Interpretasi
- Kesimpulan

Dampak lingkungan yang akan dikaji melihat dari berbagai aspek jenis pengolahan sampah yang memiliki

potensi asidifikasi, eutrofikasi, dan emisi gas rumah kaca (GRK). Variabel yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Variabel Independen:
 - a. Timbulan sampah domestik di industri galangan kapal.
 - b. Komposisi sampah domestik meliputi; sampah organik (kardus, sisa makanan, kertas, daun), sampah anorganik (bungkus makanan, botol plastik, kain).
 - c. Kebutuhan sumber daya (meliputi air, bahan bakar).
2. Variabel Dependen
 - a. Dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses pengolahan sampah, meliputi:
 - Gas rumah kaca (GRK): CO₂, N₂O, dan CH₄.
 - Potensi Asidifikasi: NH₃, SO₂, NO_x.
 - Potensi Eutrofikasi: Nitrogen (N) dan fosfor (P).
 - b. Skenario alternatif pengolahan sampah domestik di industri galangan kapal.
 - c. Produk hasil dari proses pengolahan sampah domestik, meliputi:
 - Proses pengomposan: Menghasilkan pupuk kompos.
 - Proses *Anaerobic Digestion*: menghasilkan gas dan *sludge* (pupuk organik).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

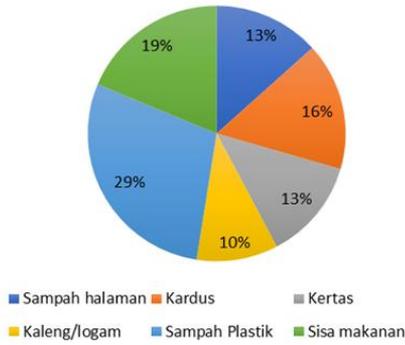
3.1 Timbulan dan Komposisi

Data timbulan sampah domestik diperoleh langsung dari salah satu industri galangan kapal di Kota Surabaya. Komposisi sampah yang masuk di TPA dapat diketahui dengan cara dihitung merata-ratakan hasil tiap komponen dari pengkategorian jenis komposisi sampah. Didapatkan volume sebagai berikut:

Tabel 1. Volume Sampah Domestik

Jenis sampah	Volume (kg/hari)
Sampah halaman	399
Kardus	486
Kertas	384
Kaleng/logam	306
Sampah Plastik	864
Sisa makanan	561
Total	3000

komposisi sampah domestik industri galangan kapal



Gambar 1. Presentase Komposisi Sampah Domestik

Dari hasil analisis, komposisi sampah paling tinggi yang dihasilkan yaitu sampah plastik sebesar 29%. Sampah plastik tersebut berasal dari botol plastik, bungkus makanan, dll. Plastik menjadi penyumbang sampah terbesar karena plastik mudah didapat, murah, dan juga tahan lama. Hal inilah yang menyebabkan manusia masih hidup ketergantungan dengan penggunaan plastik (Farida, 2022).

3.2 Proyeksi Timbulan

3.2.1 Proyeksi Penduduk

Perhitungan sampah yang akan digunakan dalam software *OpenLCA* adalah tahun proyeksi 2031. Perlu dilakukan perhitungan proyeksi penduduk untuk menjadi dasar dalam memperoleh perkiraan jumlah sampah yang dihasilkan di industri galangan kapal.

Tabel 2. Proyeksi Penduduk industri galangan kapal

Tahun	Jumlah Penduduk (orang)
2024	1540
2025	1550
2026	1560
2027	1570
2028	1581
2029	1591
2030	1601
2031	1612

Didapatkan dari hasil proyeksi penduduk tahun 2031 sebesar 1612 jiwa. Proyeksi penduduk dihitung menggunakan metode *Least Square*. Metode ini digunakan karena dari hasil pengolahan data memiliki nilai R mendekati 1. Nilai yang didapatkan dari proyeksi penduduk akan menjadi dasar acuan dalam menghitung proyeksi timbulan sampah.

3.2.2 Proyeksi Timbulan Sampah

Dari hasil analisis, timbulan sampah domestik di industri galangan kapal sebesar 1,96 kg/orang/hari. Timbulan tersebut berdasarkan total timbulan yang dihasilkan per harinya di TPS.

Berdasarkan hasil perhitungan proyeksi penduduk, maka dapat menghitung proyeksi timbulan sampah selama 8 tahun ke depan di industri galangan kapal.

Tabel 3. Proyeksi Timbulan Sampah di Industri Galangan Kapal

Tahun	Jumlah Penduduk	Proyeksi Timbulan (Kg/hari)
2024	1540	3013,6
2025	1550	3038
2026	1560	3057,6
2027	1570	3077,2
2028	1581	3097
2029	1591	3116,4
2030	1601	3138
2031	1612	3157,6

Dari perhitungan di atas, timbulan sampah yang didapatkan selama 8 tahun kedepan, yaitu sebesar 3157,6 kg/hari.

3.2.3 Proyeksi Komposisi Sampah Domestik

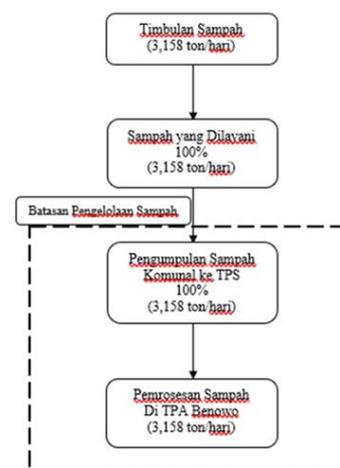
Berdasarkan data yang didapat dari perhitungan proyeksi timbulan sampah, maka dapat dihitung proyeksi komposisi sampah domestik di industri galangan kapal sebagai berikut:

Tabel 4. Proyeksi Komposisi Sampah Domestik

No	Jenis Sampah	Persentase Komposisi	Volume (kg/hari)
1	Sampah halaman	13,3%	420
2	Kardus	16,2%	512
3	Kertas	12,8%	404
4	Kaleng/logam	10,2%	322
5	Sampah Plastik	28,8%	909
6	Sisa makanan	18,7%	590
Total		100%	3157,6

3.3 Life Cycle Inventory (LCI)

3.3.1 Skenario 1 (Eksisting)



Gambar 2. Material Balance Skenario 1

Skenario 1 merupakan proses pengolahan sampah yang dilaksanakan saat ini di industri galangan kapal. Sampah hanya langsung dibuang ke tempat pewadahan sementara tanpa dikelola terlebih dahulu. Berikut adalah inventori yang dibutuhkan pada skenario 1.

Tabel 5. Data Input Inventori Skenario 1

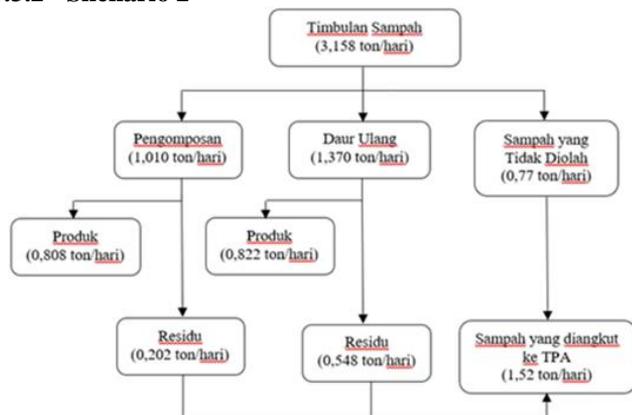
Skenario 1	Jumlah (Unit)	Kapasitas (m3)	Sampah Dikelola (ton)	Jarak Total (km)	Beban
Pewadahan					3,158 ton/hari
Pengumpulan Sumber ke TPS					3,158 ton/hari
Sumber (Tempat Sampah)	54	0,24	3,158		
Pool ke Sumber (Motor Sampah)	1	0,75	-	5	72 MJ
Motor Sampah	1	0,75	0,63	5	3,15 Tkm
Pool ke Sumber (Dump Truk)	2	2,3	-	8	144 MJ
Dump Truk	2	2,3	2,52	8	20,16 Tkm
Pengangkutan Ke TPA					
Pool ke Sumber (Armroll Truk)	1	6	-	27	378 MJ
Armroll Truk	1	6	3,11	27	83,97 Tkm

dan diangkut menuju ke TPA. Berikut adalah inventori yang dibutuhkan pada skenario 2.

Tabel 6. Data Input Inventori Skenario 2

Skenario 2	Jumlah (Unit)	Kapasitas (m3)	Sampah Dikelola (ton)	Jarak Total (km)	Beban
Pengelolaan di Sumber			3,158		3,158 ton/hari
Pemilahan	-	-	3,158		
Pengomposan			0,808		
Penyaluran ke Bank Sampah			0,822		
Pengumpulan Sumber ke TPS			1,528	-	
Pool ke Sumber (Motor Sampah)	1	0,75	-	3	36 MJ
Motor Sampah	1	0,75	0,3	3	0,9 Tkm
Pool ke Sumber (Dump Truk)	2	2,3	-	6	108 MJ
Dump Truk	2	2,3	1,28	6	7,68 Tkm
Pengangkutan Ke TPA					
Pool ke Sumber (Armroll Truk)	1	6	-	27	288 MJ
Armroll Truk	1	6	1,45	27	39,15 Tkm

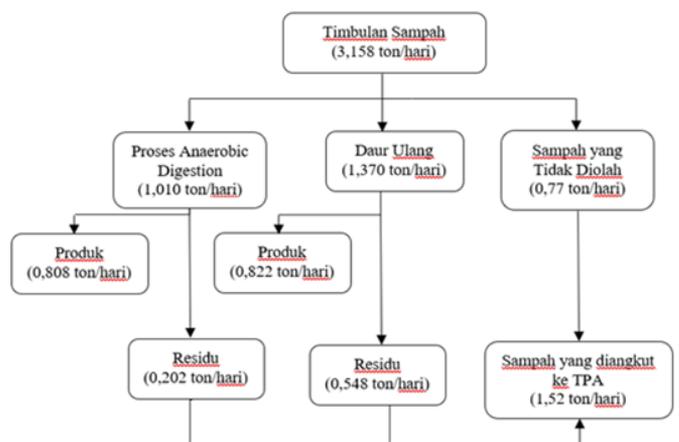
3.3.2 Skenario 2



Gambar 3. Material Balance Skenario 2

Skenario 2 merupakan pengelolaan sampah domestik yang akan direncanakan. Pengelolaan pada skenario ini berfokus mengurangi jumlah timbulan sampah di sumbernya dengan melakukan pemilahan terlebih dahulu, lalu dilakukan proses pengomposan untuk sampah organik, serta penyaluran ke bank sampah untuk dilakukan proses daur ulang. Sampah yang tidak dapat diolah akan dikumpulkan di wadah sementara

3.3.3 Skenario 3



Gambar 4. Material Balance Skenario 3

Skenario 3 merupakan pengelolaan sampah domestik yang akan direncanakan. Pengelolaan pada skenario ini berfokus mengurangi jumlah timbulan sampah di sumbernya dengan melakukan pemilahan terlebih dahulu, lalu dilakukan proses anaerobic digestion untuk sampah organik, serta penyaluran ke bank sampah untuk dilakukan proses daur ulang. Sampah yang tidak dapat diolah akan dikumpulkan di

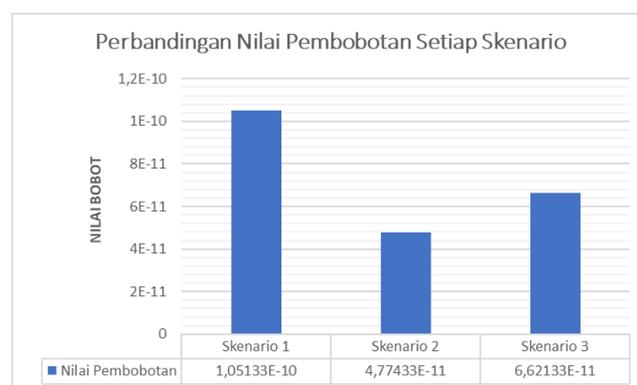
wadah sementara dan diangkut menuju ke TPA. Berikut adalah inventori yang dibutuhkan pada skenario 3.

Tabel 7. Data Input Inventori Skenario 3

Skenario 3	Jumlah (Unit)	Kapasitas (m3)	Sampah Dikelola (ton)	Jarak Total (km)	Beban
Pengelolaan di Sumber					3,158 ton/hari
Pengelolaan di Sumber			3,158		3,158 ton/hari
Pemilahan	-	-	3,158		
Anaerobic Digestion		-	0,808		
Penyaluran ke Bank Sampah	-	-	0,822		
Pengumpulan Sumber ke TPS	-	-	1,528	-	
Pool ke Sumber (Motor Sampah)	1	0,75	-	3	36 MJ
Motor Sampah	1	0,75	0,3	3	0,9 Tkm
Pool ke Sumber (Dump Truk)	2	2,3	-	6	108 MJ
Dump Truk	2	2,3	1,28	6	7,68 Tkm
Pengangkutan Ke TPA					
Pool ke Sumber (Armroll Truk)	1	6	-	27	288 MJ
Armroll Truk	1	6	1,45	27	39,15 Tkm

3.4 Life Cycle Impact Assessment (LCIA)

Life Cycle Impact Assessment atau (LCIA) merupakan salah satu proses tahapan yang memiliki tujuan untuk mengklasifikasikan dan menilai besaran dampak lingkungan yang dihasilkan dari masing-masing skenario. Kriteria dampak yang akan dianalisis dalam penilaian dampak ini adalah dampak GWP (*Global Warming Potential*), EP (*Eutrophication Potential*), dan AP (*Acidification Potential*). Setelah itu, perhitungan nilai normalisasi dilakukan pada setiap skenario pengolahan, lalu dilalikan dengan faktor pembobotan dari *database* yang ada untuk menyetarakan nilai pada setiap dampak. Hasil perhitungan nilai bobot sebagai berikut:



Gambar 5. Perbandingan Nilai Pembobotan Setiap Skenario

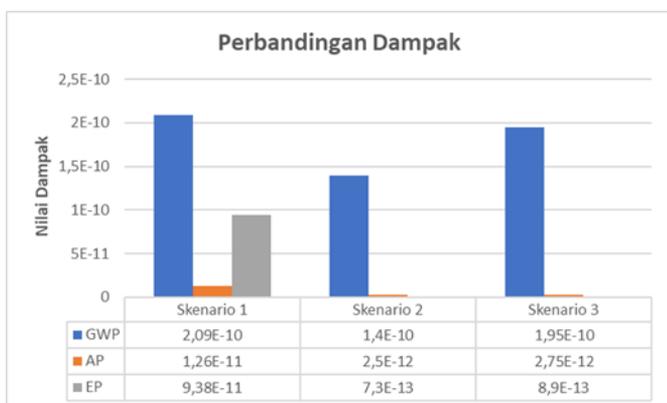
Hasil perbandingan nilai pembobotan menunjukkan bahwa skenario 1 memiliki nilai terbesar, yaitu $1,05 \times 10^{-10}$. Dapat disimpulkan bahwa skenario 1 menjadi skenario terburuk dalam pengelolaan sampah domestik di industri galangan kapal. Dalam pengelolaannya, sampah tidak dilakukan pemilahan terlebih dahulu dan proses pengangkutannya membutuhkan energi yang besar sehingga emisi yang ditimbulkan juga besar. Skenario 2 merupakan skenario terbaik yang dapat diterapkan di industri galangan kapal karena hasil pembobotan memiliki nilai terkecil dibanding skenario pengelolaan sampah lain yaitu sebesar $4,77 \times 10^{-11}$. Dalam pengelolaannya, sampah dilakukan pemilahan dari sumbernya dan dilakukan pengomposan sehingga energi yang dibutuhkan dalam proses tersebut cenderung sedikit dan jumlah emisi yang dihasilkan tidak terlalu besar.

3.5 Interpretasi

Interpretasi merupakan langkah terakhir dalam proses penilaian *Life Cycle Assessment* (LCA) dengan tujuan untuk memberikan simpulan dari hasil analisis secara menyeluruh setelah dilakukan identifikasi dan evaluasi. Interpretasi juga mencakup penentuan upaya alternatif guna untuk meminimalisasi dampak yang ditimbulkan dari sistem pengelolaan sampah.

3.5.1 Karakterisasi Dampak

Setiap skenario akan dilakukan karakterisasi dengan membandingkan potensi dampak yang ditimbulkan meliputi *Global Warming Potential* (GWP), *Acidification Potential* (AP), dan *Eutrophication Potential* (EP). Berikut perbandingan dampak dari masing-masing kategori dampak.



Gambar 6. Grafik Hasil Perbandingan Dampak Setiap Skenario

Tabel 8. Dampak Global Warming Potential (GWP)

Proses	Nilai GWP (kg CO ₂ -eq)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Pengangkutan (Motor Sampah)	3,45 x 10 ⁻¹¹	2,38 x 10 ⁻¹²	2,38 x 10 ⁻¹²
Pengangkutan (Dump Truk)	5,56 x 10 ⁻¹¹	4,50 x 10 ⁻¹²	4,50 x 10 ⁻¹²
Pengomposan	0	2,68 x 10 ⁻¹³	0
Daur ulang	0	0	0
Anaerobic Digestion	0	0	2,85 x 10 ⁻¹³
Pengangkutan menuju TPA (Armroll Truk)	1,19 x 10 ⁻¹⁰	9,79 x 10 ⁻¹²	9,79 x 10 ⁻¹²
Total	2,09 x 10⁻¹⁰	1,4 x 10⁻¹⁰	1,95 x 10⁻¹⁰

GWP atau *Global Warming Potential* merupakan nilai yang menunjukkan potensi pemanasan global dari hasil emisi suatu sumber dan emisi totalnya yang dihitung dalam jangka waktu 100 tahun (Nurunissa & Aziz, 2020). Dari hasil analisis didapatkan dampak GWP yang paling tinggi adalah skenario 1 sebesar 1,02 x 10⁻¹³ kg CO₂-eq. Skenario 1 menghasilkan dampak yang besar dikarenakan pada proses pengangkutan sampah membutuhkan BBM dengan jumlah besar. Kebutuhan bahan bakar yang besar dipengaruhi oleh jarak pengangkutan sampah yang nantinya menyebabkan emisi yang ditimbulkan akan semakin besar. Selain itu, energi yang masuk untuk bahan diesel menghasilkan emisi dan menyebabkan dampak GWP tinggi sehingga perlu upaya efisiensi energi dan pengelolaan keberlanjutan untuk mengurangi dampak perubahan iklim (Yousefi *et al.*, 2016).

Pengolahan sampah domestik menggunakan *anaerobic digestion* pada skenario 3 memberikan dampak terhadap GWP sebesar 1,95 x 10⁻¹⁴ CO₂-eq. Proses *anaerobic digestion* merupakan proses degradasi material organik tanpa melibatkan oksigen bebas dan menghasilkan kandungan gas sebagian besar (>50%) berupa metana (Aji & Bambang, 2022). Selain biogas, proses ini juga menghasilkan endapan lumpur berupa *slurry* yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk tanaman.

Nilai GWP terkecil terdapat di skenario 2 yaitu sebesar 1,93 x 10⁻¹⁴ CO₂-eq. Pada skenario ini dihasilkan emisi akibat dari proses pengomposan yang mengandung senyawa N, P, dan K. Senyawa ini akan menjadi penyebab dihasilkannya

emisi gas rumah kaca, seperti CO₂, N₂O, dan CH₄ (Nazlatul, 2021).

Tabel 9. Dampak Acidification Potential ()

Proses	Nilai AP (kg SO ₂ -eq)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Pengangkutan (Motor Sampah)	4,25 x 10 ⁻¹¹	2,37 x 10 ⁻¹²	2,37 x 10 ⁻¹³
Pengangkutan (Dump Truk)	8,16 x 10 ⁻¹¹	6,38 x 10 ⁻¹³	6,38 x 10 ⁻¹³
Pengomposan	0	2,52 x 10 ⁻¹⁴	0
Daur ulang	0	0	0
Anaerobic Digestion	0	0	2,47 x 10 ⁻¹³
Pengangkutan menuju TPA (Armroll Truk)	2,02 x 10 ⁻¹⁰	1,63 x 10 ⁻¹²	1,63 x 10 ⁻¹²
Total	1,26 x 10⁻¹¹	2,5 x 10⁻¹²	2,75 x 10⁻¹²

Terdapat beberapa polutan dampak lingkungan asidifikasi yang menyebabkan meningkatnya nilai keasaman di antaranya SO₂, NO_x, HCl, dan NH₃ (Banar *et al.*, 2009). Hasil perbandingan dampak kategori AP menunjukkan bahwa skenario 1 memiliki nilai tertinggi, yaitu sebesar 3,2 x 10⁻¹² kg SO₂-eq. Hasil ini lebih tinggi dibanding skenario 3, yaitu 2,75 x 10⁻¹² kg SO₂-eq dan skenario 2, yaitu 2,5 x 10⁻¹² kg SO₂-eq.

Skenario 1 menghasilkan dampak AP yang tinggi karena dalam proses pengangkutan sampah menggunakan armada yang membutuhkan bahan bakar solar. Mesin berbahan bakar solar menghasilkan NO_x yang dapat membahayakan jiwa (Jonson *et al.*, 2017).

Tabel 10. Dampak Eutrophication Potential (EP)

Proses	Nilai EP (kg SO ₂ -eq)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
Pengangkutan (Motor Sampah)	1,28 x 10 ⁻¹¹	7,72 x 10 ⁻¹⁴	7,72 x 10 ⁻¹⁴
Pengangkutan (Dump Truk)	2,42 x 10 ⁻¹¹	1,81 x 10 ⁻¹³	1,81 x 10 ⁻¹³
Pengomposan	0	1,92 x 10 ⁻¹⁴	0
Daur ulang	0	0	0
Anaerobic Digestion	0	0	1,71 x 10 ⁻¹³
Pengangkutan menuju TPA (Armroll Truk)	5,68 x 10 ⁻¹¹	4,61 x 10 ⁻¹³	4,61 x 10 ⁻¹³
Total	9,38 x 10⁻¹¹	7,3 x 10⁻¹³	8,9 x 10⁻¹³

Eutrophication Potential atau (EP) merupakan proses meningkatnya angka fitoplankton dilihat dari pertumbuhan tanaman alga yang meningkat akibat bertambahnya kadar organik. Dilihat dari hasil analisis, dampak EP tertinggi, yaitu pengelolaan sampah skenario 1 sebesar 9,38 x 10⁻¹³ kg SO₂-eq. Hal ini dapat terjadi akibat kegiatan operasional sampah di TPA yang mempunyai kandungan organik yang tinggi dalam bentuk nutrisi nitrogen (N) dan fosfor (P) dan terakumulasi.

Nilai EP tekecil yaitu skenario 2 sebesar 7,3 x 10⁻¹³ kg SO₂-eq. Permasalahan dalam proses pengomposan salah satunya adalah hilangnya kandungan nitrogen dalam kompos. Nitrogen dapat dilepaskan ke lingkungan terutama dalam bentuk NH₃. NH₃ merupakan salah satu komponen yang

menjadi pendukung beban eutrofikasi (Arfiyah Ula *et al.*, 2021).

3.5.2 Alternatif Pengolahan Sampah Domestik di Industri Galangan Kapal

Hasil analisis dampak yang telah dilakukan menunjukkan bahwa langkah pengelolaan sampah terbaik dengan dampak lingkungan yang ditimbulkan paling kecil adalah pengelolaan sampah skenario 2 dengan nilai pembobotan sebesar $4,77 \times 10^{-11}$. Dapat disimpulkan bahwa skenario 2 dapat menjadi alternatif pengelolaan sampah domestik yang tepat di industri galangan kapal.

Pengelolaan sampah skenario 2 dilakukan dengan melakukan pemisahan sampah di sumber, melakukan proses pengomposan untuk sampah organik, dan menyalurkan sampah yang masih bisa diolah ke bank sampah. Sampah yang tidak dapat diolah dikumpulkan di wadah sementara sebelum diangkut ke TPA.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata timbulan sampah yang dihasilkan di industri galangan kapal adalah 1,96 kg/orang/hari. Rata-rata komposisi sampah meliputi: sampah halaman 13,3%, kardus 16,2%, kertas 12,8%, kaleng/logam 10,2%, sampah plastik 28,8%, dan sisa makanan 18,7%.
2. Dari hasil analisis LCA, didapatkan nilai pembobotan pada skenario 1 sebesar $1,05 \times 10^{-10}$, skenario 2 sebesar $4,77 \times 10^{-11}$, dan skenario 3 sebesar $6,62 \times 10^{-11}$.
3. Hasil pembobotan menunjukkan bahwa pengelolaan sampah terbaik di industri galangan kapal adalah skenario 2. Pengelolaan sampah skenario 2 dilakukan dengan melakukan pemisahan sampah di sumbernya, proses pengomposan untuk sampah organik, dan menyalurkan sampah untuk didaur ulang ke bank sampah, serta mengumpulkan sampah yang tidak dapat diolah di wadah sementara sebelum diangkut ke TPA.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada salah satu industri galangan kapal di Kota Surabaya yang telah menyediakan informasi dan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini dan berbagai pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aji, K. P., & Bambang, A. N. (2019, November). Konversi Energi Biogas Menjadi Energi Listrik Sebagai Alternatif Energi Terbarukan dan Ramah Lingkungan di Desa Langse, Kecamatan Margorejo Kabupaten

Pati. In *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)* (Vol. 2, pp. B4-1).

Arfiyah Ula, R., Prasetya, A., & Haryanto, I. (2021). Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah di TPA Gunung Panggung Kabupaten Tuban, Jawa Timur. Yogyakarta : *Jurnal Teknologi Lingkungan* (Vol. 22, Issue 2).

Farida, D. (2022). Sikap Masyarakat Kelurahan Tanjung Laut Terhadap Pelarangan Penggunaan Kantong Plastik Berdasarkan Perwali Kota Bontang Nomor 30 Tahun 2018. Samarinda: *EJournal Sosiatri-Sosiologi*.

Jonson, J. E., Borken-Kleefeld, J., Simpson, D., Nyíri, A., Posch, M., & Heyes, C. (2017). Impact Of Excess No X Emissions From Diesel Cars On Air Quality, Public Health And Eutrophication. Europe: *Environmental Research Letters*.

Nazlatul Ain, T. (2021). Kajian Skenario Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Kota Sukabumi dengan Metode Life Cycle Assesment (LCA). *Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya*.

Nurunissa, S., & Aziz, R. (2020). Kajian Dampak Lingkungan Sistem Pengelolaan Sampah Di Kawasan Wisata Pantai PARIAMAN Menggunakan Metode LCA (Life Cycle Assessment). *Prosiding Sinta 3*.

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*.

Sari, I. P., Ilasabilirrosyad, 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*.

Yousefi, M., Damghani, Abdolmajid Mahdavi, & Khoramivafa, Mahmud. (2016). Comparison Greenhouse Gas (Ghg) Emissions And Global Warming Potential (Gwp) Effect Of Energy Use In Different Wheat Agroecosystems In Iran.

Yuan, Y., Li, T., & Zhai, Q. (2020). Life cycle impact assessment of garbage-classification based municipal solid waste management systems: A comparative case study in China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.