AGITASI

AGITASI: JURNAL TEKNIK KIMIA
Vol.1 No.1 (2025)

STUDY AWAL PENGELOLAAN *FOOD WASTE* TERHADAP *GLOBAL WARMING* (PEMANASAN GLOBAL) DI KOTA SORONG

Firmanullah Fadlil[1*], Ainul Alim Rahman[2], Yusnita La Goa[3] , Yusron Diffinubun[4]
[1,2,3]Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, Indonesia
[4]Program Studi Akuntansi, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong, Indonesia

**Corresponding Author: firmanullahfadlil@unimudasorong.ac.id*

ABSTRAK

Landfill merupakan pengelolaan sampah utama di tempat pemrosesan akhir (TPA) Makbon Kota Sorong. Landfill menghasilkan gas metana yang menyebabkan pemanasan global dan memicu perubahan iklim. Pertambahan penduduk memperbanyak sampah yang perlu diolah di TPA dan dapat memperparah dampak lingkungan yang ditimbulkan. Tujuan penelitian ini adalah menilai dampak lingkungan dari pengelolaan sampah eksisting di TPA Makbon Kota Sorong beserta skenario alternatifnya menggunakan Life Cycle Assessment (LCA). Terdapat satu skenario eksisting dan tiga skenario alternatif pengelolaan sampah yaitu *landfill*, pengomposan, dan *Anaerobic Digestion* (AD). Ruang lingkup studi meliputi pengangkutan sampah, pengelolaan sampah dengan cara pengomposan, Anaerobic Digestion (AD), dan *landfill*. Satuan fungsional yang digunakan yakni ton sampah yang diolah per tahun. Dampak lingkungan yang dipelajari adalah pemanasan global (*Global Warming*). Dampak lingkungan skenario eksisting menunjukkan nilai tertinggi terutama pada pemanasan global adalah 17.627,63 CO_2 eq/tahun) dan kerugian pada kesehatan manusia (0,01635844 DALY). 3 skenario lain memberikan nilai yang sama yaitu 4.296,249 CO_2 eq/tahun untuk pemanasan global dan 0,01635844 DALY untuk kerugian pada kesehatan manusia namun tetap masih lebih rendah dibandingkan skenario eksisting.

Kata kunci: Dampak Lingkungan, *Life Cycle Assessment*, Pengelolaan Sampah, Bioproses

ABSTRACT

Landfills are the primary method of waste management at the Makbon final processing site (TPA) in Sorong City. Landfills produce methane gas that causes global warming and triggers climate change. Population growth increases the amount of waste that needs to be processed at the TPA and can exacerbate the environmental impact. The purpose of this study is toassess the environmental impact of existing waste management at the Makbon TPA in Sorong City Sorong City along with its alternative scenarios using Life Cycle Assessment (LCA). There is one existing scenario and three alternative waste management scenarios: landfill, composting, and Anaerobic Digestion (AD). The scope of the study includes waste transportation, waste management through composting, Anaerobic Digestion (AD), and landfill. The functional unitused is tons of waste processed per year. The environmental impacts studied are global warming (Global Warming). The environmental impacts of the existing scenario show the highest values, particularly for global warming (17,627.63 CO2eq/year) and losses to human health (0.01635844 DALY). Other scenarios yield the same values, namely 4,296.249 CO2eq/year for global warming and 0.01635844 DALY for human health losses, but they remain lower than the existing scenario.

Keywords*: Environmental Impact, Life Cycle Assessment, Waste Management, , Bioproses*

ISSN 2776-513X

1. Pendahuluan

Berdasarkan letak geografisnya Kota Sorong memiliki batas di bagian utara Selat Dampir dan Distrik Makbon, bagian Selatan Distrik Aimas dan Distrik Salawati, bagian timur Distrik Sorong, serta bagian barat adalah Selat Dampir. Hingga tahun 2025, jumlah penduduk di Kota Sorong tercatat sebanyak 286.028 jiwa dan akan semakin bertambah di masa mendatang. Pertambahan penduduk tentunya berpengaruh pada timbulan sampah yang terbentuk. Laju timbulan sampah tiap daerah dapat saja berbeda. Misalnya laju timbulan sampah untuk daerah terlayani TPA Makbon tahun 2024 yaitu sebesar 178 ton/hari (Taburapos, 2024), dimana TPA melayani 8 kecamatan/distrik yakni Klaurung, Sorong, Sorong Barat, Sorong Kota, Sorong Manoi, Sorong Timur, Sorong Utara dan Malaimsimsa.

Luas total wilayah terlayani 7.769,91 km^2 (2). Pengelolaan sampah di TPA Makbon utamanya adalah *landfill*. Partisipasi masyarakat dalam hal pemilahan sampah dari sumber telah dilakukan, walau belum berjalan secara optimal terwujud dalam aktivitas pemilahan sampah anorganik yang selanjutnya diserahkan ke bank sampah (Ababil, 2024). Namun, jumlah bank sampah aktif di Sorong, khususnya daerah yang dilayani TPA Makbon masih sedikit, yakni 48 bank sampah. Mayoritas yang terjadi adalah penempatan sementara sampah di tempat pembuangan sampah sementara yang berjumlah 81 buah (Sorongnews, 2024).

Pengolahan sampah dengan landfill mengemisikan gas rumah kaca (CH_4 dan CO_2) yang dapat menyebabkan pemanasan global. Emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari pengolahan sampah dengan cara *landfill* di TPA Karangdiyeng Mojokerto dilaporkan sebesar 86.022 ton CO_2 eq pada tahun 2022.

Sementara itu, penelitian mengenai emisi gas rumah kaca dari sektor sampah di Kota Kendari menyertakan emisi dari pembakaran terbuka pada sebagian sampahnya, sehingga metode pengolahan sampah yang diterapkan ada tiga, landfill, pengomposan, dan pembakaran terbuka. Landfill mengemisikan CH_4 sebesar 1.470.889 kg/tahun, pengomposan mengemisikan CH_4 sebesar 187 kg/tahun serta N_2O sebesar 12 kg/tahun. Pembakaran terbuka mengemisikan CO_2 sebesar 149.373 kg/tahun, CH_4 sebesar 4.666 kg/tahun, dan N_2O sebesar 108 kg/tahun. Di Yogyakarta, pengelolaan sampah buah di pasar dengan cara anaerobic digestion dilaporkan dapat menurunkan gas rumah kaca sebesar 899 kg CO_2eq/ton sampah buah yang diolah di TPA. Namun, dibandingkan dengan dampak lingkungan lain seperti eutrofikasi, asidifikasi, potensi toksisitas manusia, dan ekotoksisitas air, potensi pemanasan global yang dihasilkan menunjukkan nilai yang paling besar, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut agar dapat mengurangi potensi pemanasan global yang terbentuk((7)).

Selain gas rumah kaca yang berasal dari landfill, transportasi sampah, pemakaian alat berat, dan proses pengomposan mengemisikan gas-gas lain yang dapat menimbulkan dampak lingkungan seperti asidifikasi dan eutrofikasi. Asidifikasi terjadi ketika terdapat polutan seperti SO_2, NO_x, dan NH_3 membentuk ion H^+ di lingkungan yang menyebabkan lingkungan menjadi asam, sedangkan eutrofikasi terjadi karena banyaknya nutrien yang ada di perairan dan menyebabkan terjadinya pergeseran komposisi spesies serta produktivitas biologis, seperti lonjakan alga (Chaerul, 2016).

Dampak lingkungan dari sebuah produk dapat dihitung dengan *Life Cycle Assessment* (LCA). *Life Cycle Assessment* merupakan teknik menilai aspek lingkungan dan dampak potensial suatu produk dengan cara menginventarisasi input dan output-nya, mengevaluasi dampak lingkungannya, dan menginterpretasi hasil dari fase analisis inventory dan penilaian dampak((9)). Beberapa kelebihan yang dimiliki LCA di antaranya: 1) LCA menilai sistem dan memberikan hasil analisis yang luas dan lebih komprehensif, 2) LCA menawarkan hasil analisis siklus hidup yang selanjutnya dapat digunakan untuk perbaikan sistem, hasil analisis yang dihasilkan dapat berupa dampak lingkungan maupun dominansi substansi kontributor yang menyebabkan dampak lingkungan itu menjadi tinggi (Arvanitoyannis, 2008), dan 3) secara

ISSN 2776-513X

khusus, LCA dalam pengelolaan limbah menunjukkan manfaat lingkungan yang dapat diperoleh melalui pengelolaan limbah dengan cara tertentu (Cherubini, 2019). Studi LCA pada pengelolaan sampah yang dilakukan di Campo Grande, Brazil menunjukkan bahwa penambahan fasilitas Mechanical Biological Treatment (MBT) memberikan hasil yang baik dalam mengurangi dampak lingkungan karena mampu memperbanyak sampah terpilah serta membentuk RDF (*Refuse Derived Fuel*) (Ula, dkk., 2021).

Semakin banyak sampah terpilah, semakin mengur$_3$angi pemanasan global. Adanya pengolahan sampah dengan AD, memberikan hasil positif bagi ketersediaan bahan bakar, terutama untuk pengganti solar kendaraan. Sementara itu, selain memberikan hasil positif pada pengurangan dampak lingkungan, pengomposan meningkatkan toksisitas lingkungan dan eutrofikasi dari emisi NOx ke udara dan NO ke lingkungan.

LCA dilakukan terhadap beberapa skenario pengolahan sampah di TPA Piyungan Yogyakarta. Beberapa metode pengelolaan sampah yang digunakan di antaranya landfill dengan atau tanpa pemanfaatan energi, insinerasi, gasifikasi, dan anaerobic digestion. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan sampah yang memberikan dampak lingkungan terkecil yaitu dengan landfill dan gasifikasi, dengan penghindaran terhadap dampak potensi pemanasan global, asidifikasi, eutrofikasi, dan potensi pembentukan oksidan fotokimia. Studi LCA juga dilakukan di TPA Gunung Panggung, Tuban dengan membanding kondisi existing dan variasi pengomposan dan Anaerob Digestion. Hasil penelitian menunjukkan dampak lingkungan pemanasan global memberikan dampak tertinggi pada masing- masing skenario diikuti dampak Asidifikasi dan Eutrofikasi (12). Studi LCA dilakukan pula di Kota Nagpur, India Tengah (13). Pengelolaan sampah yang ada di Nagpur belum dilakukan dengan baik. Pengelolaan sampah yang diusulkan dalam studi tersebut di antaranya *landfill*, pengomposan, Material Recovery Facility (MRF), dan Anaerob Digestion. Hasil penelitiannya menunjukkan metode pengolahan sampah yang sesuai meliputi gabungan dari MRF, pengomposan, dan *landfill*. Adanya MRF membantu memilah sampah sehingga semakin kecil jumlah sampah yang diolah dengan *landfill* dan mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan. *Material Recovery Facility* (MRF) merupakan fasilitas pemilah sampah campuran yang terdiri atas pemilahan mekanik dan manual, yang memiliki kemampuan pemilahan yang detail ((14).

2. Metode Penelitian

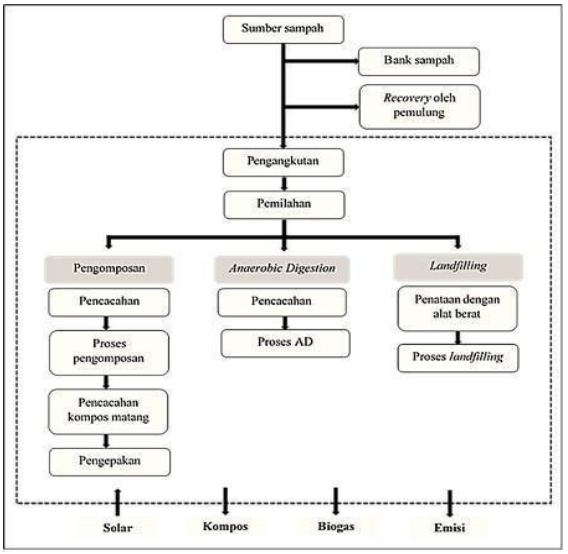
Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan pada bulan selama 1 bulan di tahun 2025. Data diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Sorong, dan dilengkapi dengan data-data pendukung dari karya ilmiah yang relevan dengan penelitian ini. Tahapan dalam LCA terdiri atas penentuan tujuan dan ruang lingkup (goal and scope), penentuan batasan sistem, satuan fungsional, inventory analysis, life cycle impact assessment, dan interpretasi hasil sesuai dengan tujuan digunakan. Terdapat tiga jenis pendekatan dalam analisis LCA berdasarkan fungsinya, yakni: 1) LCA akuntansi yang sesuai untuk digunakan dalam keperluan eco-labelling sebuah produk, 2) Stand-alone LCA, digunakan untuk mendeskripsikan produk tunggal, mencari hotspot untuk melakukan evaluasi strategi hingga pelabelan produk, dan Change-oriented LCA, digunakan untuk pembuatan desain pengembangan produk, atau proses, atau perbandingan opsi-opsi yang dapat diterapkan di masa depan((8)). Berdasarkan tiga jenis pendekatan tersebut, pendekatan *change-oriented* LCA digunakan dalam penelitian ini, yang membandingkan beberapa skenario pengelolaan sampah dan dipilih satu yang mungkin dapat diterapkan di masa depan. skenario alternatif pengelolaan sampah TPA Makbon untuk selanjutnya dianalisis dampak lingkungannya menggunakan LCA. Pada saat yang sama, LCA juga diterapkan untuk mengevaluasi dampak lingkungan pada kondisi TPA saat ini (eksisting). Tiga skenario yang disusun adalah pengelolaan sampah dengan cara landfill, pengomposan, dan Anaerobic Digestion (AD). Landfill telah diterapkan di TPA Makbon,

ISSN 2776-513X

sementara pengomposan dan AD merupakan pengelolaan tambahan dalam skenario alternatif. AD dipilih karena memiliki beberapa kelebihan di antaranya dapat mengurangi kebutuhan lahan *landfill*, dapat menghasilkan pupuk dan menjadi sumber energi sekaligus, dapat mengurangi pemanasan global dari emisi CH_4, dan menghasilkan sumber energi yang dapat diperbarui (Zhang, 2007).

Pemilahan sampah disertakan dalam skenario yang diamati dengan persentase yang berbeda-beda, khususnya untuk sampah daun dan sampah makanan. Hal ini dimaksudkan untuk memperbanyak jumlah sampah diolah pada tahap selanjutnya, dalam hal ini pengomposan dan AD. Selain itu, pemilahan sampah juga dimaksudkan untuk mengetahui kaitan pengurangan sampah yang diolah dengan landfill dan dampak lingkungan yang dihasilkan. Pemilahan sampah diasumsikan telah dilakukan dari sumbernya dengan cara meletakkan sampah tertentu dalam wadah tertentu untuk kemudian diangkut pada hari tertentu. Misalnya, sampah daun dan ranting dikumpulkan dalam wadah tertentu dan diangkut setiap hari Senin dan Kamis setiap minggu. Perbedaan persentase sampah terpilah diasumsikan karena adanya perbedaan jumlah pelaku pemilah sampah yang melakukan pemilahan sampahnya sebelum diangkut (Berglund, 2006).

Tujuan penerapan LCA dalam penelitian ini yaitu menilai dampak lingkungan dari pengelolaan sampah eksisting di TPA Makbon Sorong beserta skenario alternatifnya. Ruang lingkup penelitian ini meliputi pengangkutan sampah dari sumber sampah, pengelolaan sampah di TPA dalam kondisi eksisting (landfill), pengomposan dan AD sebagai alternatif tambahan. Satuan fungsional yang digunakan dalam penelitian ini yaitu per ton per tahun sampah yang diolah. Batasan sistem dalam penelitian ini terdapat pada Gambar 1. Skenario pengelolaan sampah meliputi skenario eksisting yang merupakan pengelolaan sampah saat ini (landfill); skenario 1 dengan asumsi 100% sampah organik dijadikan kompos, skenario 2 dengan asumsi 100% sampah organik diolah dengan teknologi AD, dan skenario 3 dengan asumsi 50% sampah organik diolah menjadi kompos dan 50% sampah organik diolah secara AD.



Gambar 1. Desain Penelitian Inventori Analysis

Tahap inventory analysis merupakan tahap pengumpulan data dan penghitungan input dan output. Inventory analysis meliputi pembuatan diagram alir skenario sistem yang diamati, pengumpulan data semua aktivitas dalam sistem, dan penghitungan beban lingkungan yang ditimbulkan (McDougall, *et al*, 2019). Data yang diperlukan di antaranya: 1) teknis pengelolaan sampah, 2) laju timbulan sampah, 3) komponen dan komposisi sampah, 4) rute kendaraan pengangkut sampah, 5) jumlah dan luas daerah pelayanan, 6) kebutuhan bahan bakar alat berat untuk pengelolaan landfill, dan 7) kebutuhan bahan bakar dan air yang dibutuhkan dalam proses pengomposan (Khandelwal, 2019). Data 1-7 diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kota Sorong dan sumber refrensi lainnya. Data faktor emisi dan faktor ekuivalensi tahap midpoint maupun endpoint diperoleh dari berbagai sumber yang relevan dengan penelitian ini, meliputi faktor emisi kendaraan pengangkut sampah dari IPCC dan penelitian Berglund tahun 2006, faktor emisi pencacah dari IPCC faktor emisi pengomposan

ISSN 2776-513X

dan landfill dari IPCC. Eaktor emisi AD dari penelitian Xu tahun 2015. faktor emisi pengepakan kompos dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. faktor emisi alat berat dari Diaz dan Warith tahun 200 dan faktor ekuivalensi tahap midpoint dan endpoint (Buendia, 2019).

Jumlah penduduk perlu diketahui terlebih dahulu guna menentukan jumlah sampah yang terbentuk pada daerah pelayanan. Berikut adalah persamaan penghitungan jumlah penduduk ((23).

$P_n = P_o \cdot e^{r.t}$ ..... (1)

Keterangan :

P_n = jumlah penduduk tahun n

P_o = jumlah penduduk tahun awal

e = bilangan pokok dari sistem logaritma natural (2,7182818)

t = periode waktu tahun dasar dan tahun n

2.1 Jumlah Penduduk Terlayani

Jumlah sampah yang terbentuk ditentukan berdasarkan jumlah penduduk dan luas daerah pada kecamatan yang dilayani. Luas daerah pelayanan ditentukan dengan Luas rata-rata kecamatan = Jumlah penduduk terlayani diperoleh dengan mengalikan jumlah penduduk per kecamatan dengan luas kecamatan terlayani.

2.2 Jumlah Sampah Yang Terbentuk Dari Daerah Terlayani

Jumlah sampah yang terbentuk diperoleh dengan mengalikan jumlah penduduk terlayani dengan laju timbulan sampah.

Jumlah sampah terbentuk = penduduk terlayani (orang) x laju timbulan sampah (kg/orang.hari) ..... (2)

Data laju pembentukan sampah sebesar 0,045 kg/orang.

2.3 Jumlah Bahan Bakar Pengangkut Sampah

Jarak tempuh truk pengangkut dihitung sesuai dengan rute kendaraan menggunakan Google Maps. Rute kendaraan diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan asumsi konsumsi solar per kilometer sebesar 0,33 L/km. Dengan menyesuaikan jarak tempuh kendaraan dan konsumsi solar per kilometer, kebutuhan bahan bakar dapat diketahui.

Kebutuhan bahan bakar = jarak tempuh kendaraan (km) x solar (L/km) .....(3)

Volume bahan bakar = massa bahan baku (ton) x konsumsi solarper ton bahan (L/ton) …….(4)

Keterangan :

Konsumsi solar per ton bahan disesuaikan dengan data yang digunakan dalam pencacahan pada proses pengomposan 2,2l/ton Volume air yang ditambahkan dalam proses AD yakni sebesar 5,49 m^3/ton VS, sementara volatile solid (VS) limbah makanan adalah 26,35% wb.

Volume air = massa bahan (ton) x 26,35% x 5,49 m^3/ton VS .....(5)

2.4 Perhitungan Emisi Transportasi Pengangkutan Sampah

Volume bahan bakar transportasi pengangkutan dihitung energinya menggunakan heating value sebesar 0,038 GJ/l, kemudian dikalikan dengan faktor emisi CO_2 (74.100 kg/TJ), CH_4 (3,9 kg/TJ), N_2O (3,9 kg/TJ)((16)) dan CO (150 mg/MJ), NOx (570 mg/MJ), SO_2 (2 mg/MJ).

Emisi transportasi = fuel (joule) x faktor emisi..(6)

2.5 Perhitungan Emisi Pencacahan Bahan Kompos Dan Ad

Emisi dari pencacahan bahan kompos maupun AD diperoleh dengan mengalikan volume bahan bakar yang telah dikonversi dalam bentuk energi dengan faktor emisi. Faktor emisi pencacahan bahan kompos dan AD yaitu CO_2 (74.100kg/TJ), CH_4 (3,9 kg/TJ), N_2O (3,9 kg/TJ)(16).

2.6 Perhitungan Emisi Dari Proses Pengomposan

Data yang diperlukan dalam penghitungan emisi CH_4 dan N_2O proses pengomposan adalah data jumlah limbah tahunan.

ISSN 2776-513X

Faktor emisi proses pengomposan yaitu CH_4 (4 g/kg limbah) dan N_2O (0,24 g/kg limbah). Asumsi kadar air bahan yaitu 60%. Emisi berupa CO_2 yang merupakan gas biogenic, berasal dari dekomposisi material organik, dikecualikan dalam penghitungan ini. Persamaan berikut digunakan untuk mengestimasikan emisi CH_4 dan N_2O.

Emisi CH_4 tahunan = (MxEF) x 10^{-3}…….(7)
Keterangan :
Massa = Massa limbah yang dikompos
(kg) EF =Faktor Emisi CH_4
10^{-3} = konstanta
R = Jumlah CH_4 yang direcovery

EmisiN_2O tahunan =(MxEF) x10^{-3}……(8)

Keterangan :
M : Massa limbah yang dikompos (kg)
EF : faktor emisi (N_2O)
10^{-3} : konstanta

Sementara itu, emisi NH_3 dari pengomposan dihitung dengan mengalikan persentase N dalam bahan (2,25%), massa bahan (kg), dan persentase emisi NH_3 (6,2%)((26)

Emisi NH_3 = 2,25% x massa bahan (kg) x 6,2%..... (8)

2.7 Perhitungan Emisi Dari Proses Anaerobic Digestion (Ad)

Massa volatile solid (VS) bahan perlu diketahui terlebih dahulu. Persentase VS dalam limbah makanan sebesar 26,35% wb. Massa VS bahan dapat diketahui dengan mengalikan massa bahan yang akan diolah (ton) dengan persentase VS (% wb). Faktor emisi dari proses AD di antaranya: N (0,18 kg/ton VS), NH3 (0,15 kg/ton VS), dan P (1,06 x 10-2 kg/ton VS).

Emisi dari proses AD = Massa VS bahan (ton VS) x faktor emisi (kg/ton VS).....(13)

dekomposisi material organik, dikecualikan dalam penghitungan ini.

Life Cycle Impact Assesment (LCIA)

Data beban lingkungan yang diperoleh pada tahap inventory analysis kemudian diklasifikasi menjadi kategori dampak lingkungan pemanasan global. Kategori dampak lingkungan yang telah terbentuk dari beberapa beban lingkungan yang berbeda beda dikarakterisasi menggunakan faktor ekuivalensi. Tahapan ini merupakan tahap midpoint yang merupakan tahapan penghubung rantai sebab akibat dari aktivitas yang menyebabkan beban terhadap lingkungan dengan mekanisme lingkungan itu sendiri. (Huijbregts, 2017) Tabel angka faktor ekuivalensi beban lingkungan terhadap kategori dampak terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor ekuivalensi beban lingkungan terhadap kategori dampak

Beban Lingkungan	Kategori Dampak	Faktor Ekuivalensi
CO_2	Pemanasan global	1
CH_4		34
CH_4 Hasil		36
N_2O		298
CO		3
SO_2	Asidifikasi	0,45
NO_x		0,14
NH_3		0,49
SO_x		1
NO_x	Eutrofikasi	0,13
NH_3		0,33
N		0,42
P		0,101

Faktor ekuivalensi asidifikasi (SO_2, NOx, dan NH_3) dan eutrofikasi (P) memiliki nilai spesifik untuk negara Indonesia. Setelah diperoleh beban lingkungan dari masing- masing kategori dampak, beban lingkungan tersebut dapat dikelompokkan lagi ke dalambeberapa kategori kerusakan (damage) meliputi kesehatan manusia (human health), kualitas ekosistem (ecosystem

ISSN 2776-513X

quality), dan kelangkaan sumber daya (resource scarcity). Pengelompokan kategori dampak ke dalam tiga kategori *area of protection* ini disebut tahap endpoint.

Tabel 2. Faktor karakterisasi tahap

Area of protection	Pemanasan Global*	Satuan
Kesehatan manusia	$9{,}28 \times 10^{-7}$	DALY/kg CO_2 eq
Ekosistem terestial (darat)	$2{,}80 \times 10^{-9}$	Spesies.tahun /kg stressor***
Ekosistem Akuatik	$7{,}65 \times 10^{-14}$	Spesies.tahun/ kg stressor***

Keterangan :
*dalam jangka waktu 100 tahun
**spesifik negara Indonesia
***stressor berupa CO_2 eq atau PO^{-3} e_4q
(-) faktor karakteristik terbatas pada area of protection yang disebutkan

Pemanasan global hanya berpengaruh pada dua kategori saja yakni kesehatan manusia dan kualitas ekosistem. Kesehatan manusia yang diekspresikan dengan *Disability Adjusted Life Year* (DALY) dipengaruhi oleh pemanasan global, sedangkan kualitas ekosistem dipengaruhi oleh ketiganya. Berikut ini merupakan faktor karakterisasi untuk masing masing kategori dampak. Perspektif dalam penentuan kerusakan yang digunakan yaitu hierarkis dengan rentang waktu yang seimbang, 100 tahun (jangka panjang dan pendek). Perspektif hierarkis merupakan perspektif yang direkomendasikan untuk digunakan sebagai metode default.

3. Hasil dan Pembahasan

Jumlah penduduk terlayani TPA Makbon yaitu 421.878 (Provinsi Papua Barat dalam Angka, 2024) orang dan jumlah sampah yang dihasilkan per harinya sebesar 19.800 kg (138.600 kg/minggu) atau 554.400 kg/bulan. Komposisi sampah di Sorong mayoritas adalah sampah makanan sebesar 11% (SIPN,2025). Pengelolaan sampah eksisting di TPA Makbon yaitu *landfill*. Pemilahan sampah untuk pengomposan dilakukan secara manual dan residunya dibuang ke *landfill*.

3.1 Inventory Analysis

Input sumber daya per ton sampah yang diolah terdapat pada Tabel 4. Beban lingkungan diperoleh dari data input dan output dalam inventory analysis. Tabel input sumber daya masing-masing skenario terdapat pada Tabel 5. Perbedaan jumlah sampah pada masing-masing skenario disebabkan karena adanya asumsi bahwa sampah dipilah dalam jumlah tertentu,); skenario 1 dengan asumsi 100% sampah organik dijadikan kompos, skenario 2 dengan asumsi 100% sampah organik diolah dengan teknologi AD, dan skenario 3 dengan asumsi 50% sampah organik diolah menjadi kompos dan 50% sampah organik diolah secara AD. Sebanyak 11% dari total sampah yang masuk ke TPA Makbon adalah sampah organik sehingga total dari sampah organik yang dimanfaatkan adalah 15.246 kg/minggu atau 60.984 kg/bulan. Skenario 1 total sampah yang diolah menjadi kompos adalah 60.984 kg/bulan, untuk skenario 2 total sampah yang diolah melalui proses *anaerob digestion* (AD) berjumlah 60.984 kg/bulan, sedangkan untuk skenario 3 jumlah sampah yang diolah menjadi kompos dan AD masing-masing sejumlah 30.492 kg/bulan.

ISSN 2776-513X

ISSN 2776-513X

JURNAL AGITASI
E-ISSN **2776-513X**
Vol 1 No 1 (2025)

Tabel 3. Input Sumber daya per ton sampah yang diolah

Aktivitas	Jenis Sumber Daya	Input per ton Sampah
Transportasi	Solar Pengangkutan Sampah	5,5 L
Pengomposan	Solar pencacah	2,2 L
	Air	38,9 L
	Listrik	1,33 kwH
AD	Solar Pencacah	2,2 L
	Air	1.450 L
Landfill	Solar alat berat	0,87 L

Proses pembentukan kompos dan AD dilakukan selama 1 bulan. Dengan perkiraan sampah organik basah yang dikonversi menjadi kompos akan bersisa 60% dari massa total sehingga di skenario 1 didapati sampah yang menjadi kompos berjumlah 36.590,4 kg. Untuk skenario 2 bernilai 0 karena tidak ada sampahyang dikonversi menjadi kompos, tetapi semuanya digunakan untuk proses AD. Skenario 3 dilakukan total sampah yang menjadi kompos berjumlah 18.295,2 kg, nilai ini berdasarkan skenario 3 yang mengolah 50% sampah organik menjadi kompos dan 50% sampah organik menjadi AD. Kemudian kebutuhan bahan bakar untuk proses pencacahan kompos adalah 2,2 L/ton sampah. Skenario eksisting tidak terdapat kebutuhan bahan bakar untuk pencacahan karena merupakan kondisi eksisting dimana sampah hanya dibiarkan saja tanpa ada proses pengolahan lebih lanjut. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 yang mana sampah organik dikonversimenjadi kompos sehingga dibutuhkan bahan bakar alat pencahahan dengan jumlah yang berbeda yaitu 130,1 L dan 65,05 L. Skenario 2 bernilai 0 untuk bahan bakar pencacah karena tidak dilakukan proses pencahan untuk kompos dan 100% dilakukan proses AD. Kemudian kebutuhan air untuk kompos dihitung tiap 1 ton sampah organik membutuhkan 38,9 L air. Sehingga untuk skenario eksisting dan skenario 2 tidak dihitung kebutuhan airnya. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 dihitung kebutuhan airnya. Kebutuhan listrik untuk proses pengomposan setiap 1 ton sampah membutuhkan 1,33 kwh. Sehingga skenario eksisting dan skenario 2 tidak dihitung karena tidak ada proses kompos. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 yang mana melakukan proses kompos didapati berjumlah 81,11 kwh dan 40,55 kwh secara berurutan. Prinsip perhitungan proses AD dan landfill/eksisting sama dengan perhitungan sebelumnya sehingga didapati nilai yang tampak di Tabel 5. Proses pembentukan kompos dan AD dilakukan selama 1 bulan. Dengan perkiraan sampah organik basah yang dikonversi menjadi kompos akan bersisa 60% dari massa total sehingga di skenario 1 didapati sampah yang menjadi kompos berjumlah 36.590,4 kg. Untuk skenario 2 bernilai 0 karena tidak ada sampah yang dikonversi menjadi kompos, tetapi semuanya digunakan untuk proses AD. Skenario 3 dilakukan total sampah yang menjadi kompos berjumlah 18.295,2 kg.

Berdasarkan skenario 3 yang mengolah 50% sampah organik menjadi kompos dan 50% sampah organik menjadi AD.Kemudian kebutuhan bahanbakar untuk proses pencacahan kompos adalah 2,2 L/ton sampah. Skenario eksisting tidak terdapat kebutuhan bahan bakar untuk pencacahan karena merupakan kondisi eksisting dimana sampah hanya dibiarkan sajatanpaada proses pengolahan lebihlanjut. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 yang mana sampah organik dikonversi menjadi kompos sehingga dibutuhkan bahan bakar alat pencahahan dengan jumlah yang berbeda yaitu 130,1 L dan 65,05 L. Skenario 2 bernilai 0 untuk bahan bakar pencacah karena tidak dilakukan proses pencahan untuk kompos dan 100% dilakukan

ISSN 2776-513X

JURNAL AGITASI
E-ISSN **2776-513X**
Vol 1 No 1 (2025)

proses AD. Kemudian kebutuhan air untuk kompos dihitung tiap 1 ton sampah organik membutuhkan 38,9 L air. Sehingga untuk skenario eksisting dan skenario 2 tidak dihitung kebutuhan airnya. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 dihitung kebutuhan airnya. Kebutuhan listrik untuk proses pengomposan setiap 1 ton sampah membutuhkan 1,33 kwh. Sehingga skenario eksisting dan skenario 2 tidak dihitung karena tidak ada proses kompos. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 yang mana melakukan proses kompos didapati berjumlah 81,11 kwh dan 40,55 kwh secara berurutan. Prinsip perhitungan proses AD dan landfill/eksisting sama dengan perhitungan sebelumnya. Proses *landfill* memberikan dampak tertinggi, terutama di kondisi eksisting. Ini tampak jelas karena tanpa pengolahan sampah maka akan memberikan dampak terbesar terhadap pemanasan global. Sedangkan transportasi memberikan dampak terkecil. Untuk skenario 1,2 dan 3 memberikan nilai terhadap pemanasan global yang sama yaitu 4.296,249 kg CO_2 eq/th. Jika kita coba membandingkan dampak sampah organik sisa makanan yang tidak dikelola dengan skenario pengelolaan yang berbeda maka tampak bahwa skema pengelolaa sampah memberikan pengurangan terhadap pemanasan global.

3.2 Interpretasi Hasil

Dampak lingkungan yang paling besar dalam penelitian ini yaitu pemanasan global/ *global warming* (Gambar 1), baik pada skenario eksisting maupun pada ketiga skenario alternatif. Dampak lingkungan yang telah diperoleh pada tahap midpoint dapat diamati dominansi emisinya secara lebih detail berdasarkan aktivitas yang ada di dalamnya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mengamati aktivitas yang memberikan efek yang menonjol yaitu analisis dominansi. Analisis dominansi digunakan untuk mengetahui bagian dari siklus hidup yang memiliki dampak lingkungan terbesar, dengan mengamati emisi atau dampak lingkungan pada masing-masing aktivitas dalam siklus hidup. Skenario eksisting menunjukkan dampak terbesar pada pemanasan global yang berasal dari aktivitas *landfill*.

Ketiga dampak lingkungan tersebut dapat menyebabkan kerugian pada kesehatan manusia dan kualitas ekosistem. Pemanasan global berdampak pada kesehatan manusia dan kualitas ekosistem. Merujuk

Tabel 7, pemanasan global sangat terlihat pengaruhnya pada kesehatan manusia, terutama skenario eksisting. Kesehatan manusia berisiko mengalami kerugian selama 0,016 DALY yang artinya akibat pemanasan global yang disebabkan oleh pengelolaan sampah skenario eksisting, manusia dapat mengalami kecacatan selama 0,016 tahun dalam hidupnya. Penyakit yang menyebabkan kerugian pada manusia yakni penyakit yang berkaitan dengan peningkatan suhu. Beberapa vektor penyakit menunjukkan perubahan siklus hidupnya akibat meningkatnya suhu lingkungan. Sebagai contoh penyakit malaria dengan vektor nyamuk *Anopheles*. Nyamuk *Anopheles* hidup di daerah panas dan lembap. Kemunculannya terutama ketika pancaroba terjadi. Namun, karena adanya curah hujan yang tidak teratur, nyamnopheles dapat muncul sepanjang tahun seperti dilaporkan di Afrika Selatan dan Afrika Timur pada tahun 1988 Pemanasan global memengaruhi ekosistem baik terestrial maupun akuatik. Organisme terestrial baik tumbuhan maupun hewan dapat terkena dampak dari pemanasan global. Di Indonesia pemanasan global berdampak pada komunitas terumbu karang di Gili Matra, Nusa Tenggara Barat. Peningkatan suhu yang terjadi pada tahun 2016 menyebabkan terjadinya pemutihan pada beberapa genus terumbu karang yang rentan seperti *Acropora*, *Heliopora*, *Stylophora*, dan *Pocillopora*. Terumbu karang merupakan habitat bagi berbagai ikan. Pemutihan terumbu karang berpengaruh pada berkurangny kelimpahan dan biomassa ikan yang hidup di sekitar terumbu karang.

ISSN 2776-513X

JURNAL AGITASI
E-ISSN **2776-513X**
Vol 1 No 1 (2025)

Nilai kepunahan spesies yang dihasilkan dalam penelitian ini tidak menunjukkan nilai yang sangat besar, baik terestrial maupun akuatik yang disebabkan oleh pemanasan global. Kepunahan spesies akibat pemanasan global semakin menurun seiring berkurangnya sampah yang diolah dengan *landfill*. Meskipun demikian, LCIA hingga tahap endpoint memiliki banyak ketidakpastian yang disebabkan oleh banyaknya tahap yang perlu dilewati hingga mencapai tahap akhir(28). Penggabungan berbagai efek pembentuk damage pada endpoint memang menghasilkan data yang mudah dipahami, namun tidak dapat dipisahkan dari ketidakpastian data itu sendiri(28). Terutama untuk dampak kerugian karena pemanasan global, terdapat beberapa hambatan dalam memodelkan dampak kesehatan akibat gas rumah kaca(22), dua di antaranya yaitu 1) perubahan iklim tidak langsung memberikan pengaruhnya pada masa kini, melainkan pada dekade mendatang dan setelahnya, 2) gas rumah kaca yang teremisikan di Eropa dapat memberikan kerugian di seluruh dunia (22). Poin kedua tentunya berlaku di mana pun. Dua poin yang terakhir disebutkan memberikan tambahan kontribusi terhadap ketidakpastian pada tahapendpoint, khususnya kerugian pada kesehatan manusia karena pemanasan global.

Proses pembentukan kompos dan AD dilakukan selama 1 bulan. Dengan perkiraan sampah organik basah yang dikonversi menjadi kompos akan bersisa 60% dari massa total sehingga di skenario 1 didapati sampah yang menjadi kompos berjumlah 36.590,4 kg. Untuk skenario 2 bernilai 0 karena tidak ada sampah yang dikonversi menjadi kompos, tetapi semuanya digunakan untuk proses AD. Skenario 3 dilakukan total sampah yang menjadi kompos berjumlah 18.295,2 kg. jumlah yang berbeda yaitu 130,1 L dan 65,05 L. Skenario 2 bernilai 0 untuk bahan bakar pencacah karena tidak dilakukan proses pencahan untuk kompos dan 100% dilakukan proses AD. Kemudian kebutuhan air untuk kompos dihitung tiap 1 ton sampah organik membutuhkan 38,9 L air. Sehingga untuk skenario eksisting dan skenario 2 tidak dihitung kebutuhan airnya. Berbeda dengan skenario 1 dan 3 dihitung kebutuhan airnya. Kebutuhan listrik untuk proses pengomposan setiap 1 ton sampah membutuhkan 1,33 kwh.

4. Kesimpulan

Analisis LCA pada penelitian ini menunjukkan dampak lingkungan pemanasan global merupakan dampak lingkungan tertinggi pada masing-masing skenario pengelolaan sampah di TPA Makbon, terutama pada skenario eksisting, yaitu 17.627,63 kg CO_2eq/tahun. Aktivitas yang memberikan dampak besar pada pemanasan global yaitu *landfill*. Kerugian akibat dampak lingkungan sangat terlihat pada kesehatan manusia, 0,01635844 DALY yang disebabkan oleh pemanasan global. Kerugian pada kualitas ekosistem tidak menunjukkan nilai yang besar. sampai dengan 4 kali lipat dibandingkan tanpa melakukan pengolahan. Hasil ini memberikan informasi awal bahwa ketika suatu sampah tidak dikelola dengan baik akan memberikan dampak yang besar terhadap pemanasan global. Kerugian akibat adanya dampak lingkungan diklasifikasikan ke dalam tiga area of protection yaitu kesehatan manusia, ekosistem terestial, dan ekosistem akuatik terdapat pada

5. Ucapan Terima Kasih

Kami tim peneliti kepada tim pengelola TPA Makbon Kabuapten Soronr yang telah membantu penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

Ababil R.H., Mayangsari N.E., Shopia A.V. 2024, Life Cycle Assessment (LCA) pada Proses Pengolahan Sampah di TPA Karangdiyeng Kabupaten Mojokerto. *Conference Proceeding on Waste Treatment*

ISSN 2776-513X

JURNAL AGITASI
E-ISSN **2776-513X**
Vol 1 No 1 (2025)

Technology, 5 (2623): 249–54.

Andersen J.K., Boldrin A, Christensen T.H., Scheutz C., 2010, Mass balances and life-cycle inventory for a garden waste windrow composting plant (Aarhus, Denmark). Waste Manag Res *J Int Solid Wastes Public Clean* 28 (11):1010–1020.

Arvanitoyannis I. 2008, ISO 14040: Life Cycle Assessment (LCA) – Principles and Guidelines. In: Waste Management for the Food Industries.

Berglund, M. 2006 Environmental systems analysis of biogas systems Part I: Fuel- cycle emissions. Vol. 30: 469–85.

Klöpffe, W., 2006, The Hitch Hiker' s Guide to LCA An orientation in LCA methodology and application. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11 : 142.

Buendia E., Tanabe K., Kranjc A., Jamsranjav B., Fukuda M., and Ngarize S., 2019, Refinement to the 2006, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Chaerul M, Dirgantara G.G., dan Akib R. 2016, Prediction Of Greenhouse Gasses Emission From Municipal Solid Waste Sector In Kendari City, Indonesia (Prediksi Emisi Gas Rumah Kaca dari Sektor Sampah di Kota Kendari, Indonesia.

Cherubini F, Bargigli S, anda Ulgiati S. 2019, Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. *Energy*, 34 (12): 2116–2123.

Diaz R, and Warith M., 2006, Life-cycle assessment of municipal solid wastes: Development of the WASTED model.

Huijbregts M.A.J., Steinmann Z.J.N., Elshout P.M.F.., Stam G, Verones F., Vieira M., 2017, A harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int J Life Cycle Assess*, 22(2):138–47.

Khandelwal H, Thalla AK, and Kumar S. 2019 Bioresource Technology Life cycle assessment of municipal solid waste management options for India. *Bioresour Technol*, Vol. 288: 121-515.

Marendra F, Rahmada A, Prasetya A, Cahyono RB, Utara JT, d a n Ugm K. 2018 Kajian Dampak Lingkungan pada Sistem Produksi Listrik.

McDougall F.R., White PR, Franke M, Hindle Morais P De, Olivo F, Loureiro P, Schalch V, Cimpan C. 2019, Life Cycle Assessment of prospective MSW management based on integrated management planning in Campo Grande, Brazil. *Waste Manag*, 90: 59–71.

Municipality S, anda Figures IN. Kota sorong dalam angka. 2025;23.

White, P., 2001. Integrated solid waste management: A Life Cycle Inventory, *International Journal Life Cycle Assess,* 6 (5): 320.

Sorongnews, 2024. Provinsi Papua Barat Daya dalam Angka: Jumlah Tempat Pembuangan Sampah Sementara Menurut Distrik di Kota Sorong,

Ula R.A., Prasetya A., dan Haryanto I. 2021, Life Cycle Assessment (LCA) Pengelolaan Sampah di TPA Gunung Panggung Kabupaten

ISSN 2776-513X

Tuban, Jawa Timur. J Teknol Lingkunga, 22(2):147–61.

Wilkie A. 2005, Anaerobic digestion of dairy manure: Design and process considerations, Vol. 1: 301–12.

Xu C., Shi W., Hong J., Zhang F., Chen W. 2015, Life cycle assessment of food waste-based biogas generation, *Renew Sustain Energy Rev*, 49 :169–177.

Zhang R., El-mashad H.M., Hartman K., Wang F., Liu G., and Choate C., 2007, Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion, *Bioresource Technology*, 98 (4): 929–35.