

Prediksi Produksi Gas Metana dan Dampak Lingkungan dari Kegiatan *Landfilling* di TPA Griyo Mulyo, Kabupaten Sidoarjo dengan menggunakan Kombinasi Permodelan LandGEM dan OpenLCA

Ahmad Aufinal Muna dan Praditya S. Ardistry Sitogasa*

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

Email Korespondensi: praditya.s.tl@upnjatim.ac.id

ABSTRAK

Kata Kunci:

Metana, Landfilling, , OpenLCA

Jurnal ini membahas tentang prediksi produksi gas metana dan dampak lingkungan dari pengelolaan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Griyo Mulyo. Penelitian ini menggunakan pendekatan kombinasi permodelan LandGEM dan OpenLCA untuk mengestimasi produksi gas metana dari dekomposisi sampah serta dampak lingkungan yang terkait. Hasil prediksi produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo menunjukkan variabilitas dalam emisi gas metana yang dapat terjadi karena faktor-faktor seperti volume sampah yang masuk, dan kondisi degradasi yang bervariasi dari waktu ke waktu. Proyeksi produksi gas metana menggunakan model LandGEM periode 2020-2030 dengan parameter suhu rata-rata 30°C, hasilnya menunjukkan puncak produksi gas metana pada tahun 2026, dengan nilai 6,03 Gg/tahun untuk Default CAA-Konvensional dan 2,92 Gg/tahun untuk Inventory Default. Analisis dampak lingkungan menggunakan OpenLCA pada landfill TPA Griyo Mulyo tahun 2023 menunjukkan dampak yang signifikan terhadap perubahan iklim, toksisitas manusia, dan ekosistem laut. Emisi gas rumah kaca mencapai 1,59 juta kg CO₂eq, sementara toksisitas manusia dan ekosistem laut masing-masing mencapai 18.200 kg dan 418 kg 1,4-DB eq. Terdapat pula dampak terhadap kualitas udara dan lapisan ozon, meskipun dengan tingkat yang lebih rendah. Tidak ada dampak yang signifikan terkait eksploitasi sumber daya abiotik, asidifikasi, atau eutrofikasi. Analisis ini menyoroti pentingnya pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan di masa mendatang.

ABSTRACT

Keyword:

Methane, Landfilling, , OpenLCA

This journal discusses predictions of methane gas production and the environmental impact of waste management at the Griyo Mulyo Final Disposal Site (TPA). This research uses a combination of LandGEM and OpenLCA modeling approaches to estimate methane gas production from waste decomposition and the associated environmental impacts. The predicted results of methane gas production from the Griyo Mulyo landfill show variability in methane gas emissions which can occur due to factors such as the volume of incoming waste, and varying degradation conditions over time. Projection of methane gas production using the LandGEM model for the 2020-2030 period with an average temperature parameter of 30°C, the results show peak methane gas production in 2026, with a value of 6.03 Gg/year for Default CAA-Conventional and 2.92 Gg/ year for Inventory Default. Environmental impact analysis using OpenLCA on the Griyo Mulyo TPA landfill in 2023 shows a significant impact on climate change, human toxicity and marine ecosystems. Greenhouse gas emissions reached 1.59 million kg CO₂eq, while human and marine ecosystem toxicity reached 18,200 kg and 418 kg 1.4-DB eq, respectively. There are also impacts on air quality and the ozone layer, although to a lesser extent. There are no significant impacts related to abiotic resource exploitation, acidification, or eutrophication. This analysis highlights the importance of more sustainable waste management in the future

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah merupakan isu penting dalam konteks lingkungan dan keberlanjutan (Sudarmo *et al.*, 2019). Proses dekomposisi sampah organik di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) dapat menghasilkan gas metana (CH₄), yang memiliki dampak signifikan terhadap efek rumah kaca dan perubahan

iklim global (Smith *et al.*, 2021). Dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dari pengelolaan sampah, perlu dilakukan prediksi produksi gas metana dan analisis dampaknya (Chen *et al.*, 2021).

TPA Griyo Mulyo, yang terletak di Kabupaten Sidoarjo, merupakan salah satu lokasi pengelolaan sampah yang perlu dianalisis untuk memahami produksi gas metana dan dampak

lingkungan yang terkait. Melalui pendekatan permodelan, informasi yang komprehensif dapat diperoleh untuk menginformasikan kebijakan pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan di wilayah ini (Gonzales *et al.*, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan prediksi produksi gas metana dari dekomposisi sampah di TPA Griyo Mulyo, serta menganalisis dampak lingkungan yang dihasilkan oleh emisi gas metana tersebut. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kombinasi permodelan LandGEM dan OpenLCA. LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model*) digunakan untuk mengestimasi produksi gas metana berdasarkan volume sampah, sedangkan OpenLCA (*Open Life Cycle Assessment*) digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari emisi gas metana (Wang *et al.*, 2021).

1.1 Produksi Gas Metana dari Pengelolaan Sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA)

Pengelolaan sampah di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) merupakan salah satu sumber utama emisi gas metana (CH₄) ke atmosfer (Kjeldsen *et al.*, 2020). Gas metana adalah produk dari dekomposisi anaerobik bahan organik dalam sampah. Proses ini terjadi ketika bahan organik terkubur dalam kondisi yang minim oksigen, seperti yang umumnya ditemukan di dalam TPA. Gas metana memiliki potensi pemanasan global yang lebih besar daripada karbon dioksida (CO₂), sehingga menjadi kontributor signifikan terhadap efek rumah kaca dan perubahan iklim (IPCC, 2013). Prediksi produksi gas metana dari TPA menjadi penting dalam upaya mengurangi dampak lingkungan dari pengelolaan sampah (Brown *et al.*, 2017).

1.2 Permodelan LandGEM dalam Prediksi Produksi Gas Metana

Permodelan LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model*) dikembangkan oleh U.S. Environmental Protection Agency (EPA) sebagai alat untuk memprediksi produksi gas metana dari TPA (U.S. EPA, 2020). LandGEM memperhitungkan berbagai faktor, termasuk karakteristik komposisi sampah, volume, kondisi degradasi, dan faktor koreksi waktu. Model ini telah digunakan secara luas untuk memperkirakan emisi gas metana dari TPA di berbagai lokasi (Hauschild & Wenzel, 2017).

LandGEM adalah model perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan produksi gas metana dari tempat pembuangan sampah (Lee *et al.*, 2018). Model ini dirancang untuk membantu dalam pemahaman dan prediksi jumlah gas metana yang dihasilkan dari tempat pembuangan sampah tertentu selama periode waktu tertentu. (Martinez *et al.*, 2020) Dalam pemodelan ini, LandGEM mempertimbangkan berbagai faktor, seperti jenis sampah yang dibuang, kondisi tempat pembuangan sampah, iklim, dan faktor lainnya yang memengaruhi produksi gas metana (Jones *et al.*, 2019). Model ini berguna dalam perencanaan dan pengelolaan tempat pembuangan sampah karena membantu dalam memperkirakan potensi emisi gas metana, yang merupakan gas rumah kaca yang berpotensi merusak lingkungan dan kesehatan manusia (Kim *et al.*, 2018).

LandGEM juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi peluang untuk mengurangi emisi gas metana dengan menerapkan teknologi pengelolaan sampah yang lebih efisien, seperti penangkapan dan pemurnian gas metana. Dengan demikian, pemodelan LandGEM memiliki peran penting

dalam upaya untuk mengurangi dampak lingkungan dan mengoptimalkan penggunaan tempat pembuangan sampah.

1.3 Analisis Dampak Lingkungan dengan OpenLCA

Analisis Dampak Siklus Hidup (*Life Cycle Assessment/LCA*) merupakan pendekatan yang digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari suatu produk atau proses secara komprehensif. OpenLCA adalah salah satu perangkat lunak LCA yang populer dan bersifat *open-source* (Kumar *et al.*, 2019). Dalam konteks penelitian ini, OpenLCA digunakan untuk menganalisis dampak lingkungan dari emisi gas metana yang dihasilkan oleh TPA Griyo Mulyo.

1.4 Studi Terkait dan Kontribusi Penelitian

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengaplikasikan permodelan LandGEM dan analisis dampak lingkungan menggunakan LCA untuk mengkaji produksi gas metana dan dampak lingkungan dari pengelolaan sampah di berbagai lokasi. Namun, keterbatasan data dan variasi karakteristik sampah di setiap lokasi membuat setiap penelitian memiliki konteks yang unik.

Penelitian ini berkontribusi dengan menggabungkan kedua pendekatan tersebut dalam konteks TPA Griyo Mulyo, Kabupaten Sidoarjo. Dengan menggunakan kombinasi permodelan LandGEM dan OpenLCA, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih lengkap tentang produksi gas metana dan dampak lingkungan dari pengelolaan sampah di lokasi ini. Hasil penelitian ini dapat memberikan panduan berharga bagi upaya pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kombinasi permodelan LandGEM dan analisis dampak lingkungan menggunakan OpenLCA. Permodelan LandGEM digunakan untuk memprediksi produksi gas metana dari dekomposisi sampah di TPA Griyo Mulyo, Kabupaten Sidoarjo. Selanjutnya, analisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan OpenLCA untuk mengevaluasi dampak emisi gas metana terhadap lingkungan.

2.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Griyo Mulyo, yang terletak di Kabupaten Sidoarjo, Indonesia. TPA ini merupakan lokasi utama pengelolaan sampah di wilayah tersebut dan menjadi fokus penelitian ini.

2.3 Pengumpulan Data

Data tentang komposisi sampah dan volume yang masuk ke TPA Griyo Mulyo diambil dari catatan pengelolaan sampah setempat. Informasi ini meliputi jenis sampah organik dan non-organik yang dibuang ke TPA serta jumlahnya selama periode tertentu.

2.4 Permodelan LandGEM

Permodelan LandGEM digunakan untuk memprediksi produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo. Data komposisi sampah dan volume digunakan sebagai masukan untuk model ini. Parameter lain, seperti faktor koreksi waktu dan karakteristik degradasi, juga dimasukkan untuk menghasilkan estimasi produksi gas metana selama periode penelitian.

2.5 Analisis Dampak Lingkungan dengan OpenLCA

Setelah mendapatkan estimasi produksi gas metana dari permodelan LandGEM, analisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan OpenLCA. Langkah-langkah dalam analisis ini meliputi:

- (1) Pemodelan Siklus Hidup: Membangun model siklus hidup yang mencakup produksi gas metana, transportasi, dan pembuangan akhir..
- (2) Pengumpulan Data Inventori: Data input berupa sampah yang masuk dan output yang diambil dari data inventori yang didapat dari proses running LandGEM
- (3) Penilaian Dampak: Menggunakan data inventori, dampak lingkungan dari proses kegiatan landfill dianalisis dengan menggunakan model OpenLCA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

3.1.1 Prediksi Produksi Gas Metana dari TPA Griyo Mulyo menggunakan LandGEM

Hasil permodelan LandGEM menunjukkan bahwa produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo selama periode 2020-2025 (Sesuai dengan periode TPA dibuka dan ditutup) diperkirakan mencapai angka tertentu, dengan variasi berdasarkan volume sampah dan karakteristik degradasi. Angka produksi gas metana ini dihitung berdasarkan data yang telah dikumpulkan. Berikut merupakan data timbunan sampah yang didapatkan dari data sampah TPA Griyomulyo tahun 2022 sebesar 201.975.267,69 kg/ tahun. Menurut Martha Lumban Gaol dan I D A Warmadewanthi (2017), Peningkatan rata-rata 2% pertahun. Sehingga proyeksi timbunan sampah sampai dengan 2025 dapat dilihat dalam tabel berikut.

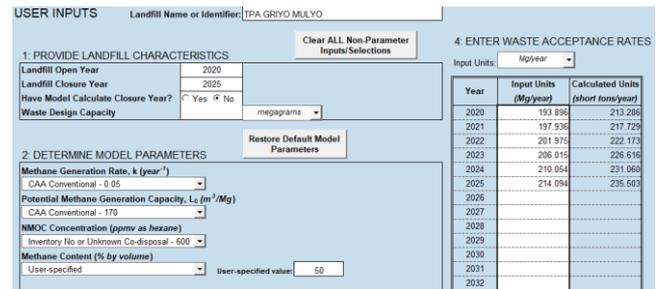
Tabel 1. Proyeksi Timbunan Sampah TPA Griyo Mulyo (2020-2025)

| Tahun | Timbunan Sampah (Kg/Tahun) | Timbunan Sampah (Mg/Tahun) | Timbunan Sampah (Gg/Tahun) |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 2020 | 193.896.256,98 | 193.896,26 | 193,90 |
| 2021 | 197.935.762,34 | 197.935,76 | 197,94 |
| 2022 | 201.975.267,69 | 201.975,27 | 201,98 |
| 2023 | 206.014.773,04 | 206.014,77 | 206,01 |
| 2024 | 210.054.278,40 | 210.054,28 | 210,05 |
| 2025 | 214.093.783,75 | 214.093,78 | 214,09 |

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

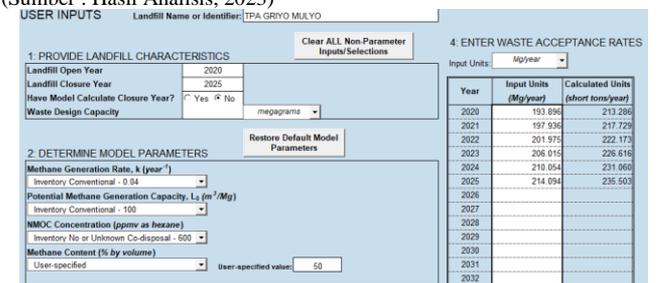
Berdasarkan data timbunan sampah diatas, bisa digunakan untuk memprediksi produksi gas metana dengan menggunakan permodelan LandGEM (*Landfill Gas Emissions Model*). Berdasarkan kondisi wilayah kabupaten Sidoarjo dengan rata-rata temperatur sebesar 30°C maka parameter default yang akan digunakan adalah Default CAA-

Konvensional (diasumsikan tidak ada tambahan air lindi). Semakin tinggi nilai Konstanta (K) maka semakin cepat pula laju pembentukannya, nilai K yang digunakan pada default CAA Konvensional adalah 0,05 per tahun sedangkan untuk inventory default adalah 0,04 per tahun, sedangkan untuk nilai kapasitas pembentukan metana (Lo) pada default CAAKonvensional adalah 170 m³/mg, sedangkan untuk inventory default adalah 100 m³/mg.



Gambar 1. User Input CAA Konvensional model LandGEM

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)



Gambar 2. User Input Inventory Konvensional model LandGEM

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Setelah memasukkan user input pada model LandGEM, selanjutnya memasukkan data proyeksi Timbulan sampah dengan satuan mg/tahun seperti pada gambar diatas, untuk data lebih jelasnya disajikan pada Tabel 2. berikut:

Tabel 2. Input Proyeksi Timbulan Sampah

| Year | Input Units (Mg/year) | Calculated Units (short tons/year) |
|------|-----------------------|------------------------------------|
| 2020 | 193.896 | 213.286 |
| 2021 | 197.936 | 217.729 |
| 2022 | 201.975 | 222.173 |
| 2023 | 206.015 | 226.616 |
| 2024 | 210.054 | 231.060 |
| 2025 | 214.094 | 235.503 |

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Setelah input data selesai dapat dilakukan perhitungan potensi gas metana di TPA Bengkala dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$QCH_4 = \sum_i \sum_{j=0,1}^i K lo \left(\frac{mi}{10}\right) e^{-ktej} \quad (1)$$

Dengan keterangan:

- QCH₄ = jumlah gas metan yang dihasilkan dalam tahun perhitungan (m³/tahun);
- n = tahun perhitungan tahun awal sampah masuk TPA;
- k = laju pembentukan metan (1/tahun);

L0 = kapasitas potensial pembentukan metan (m^3/Mg);
 Mi = berat sampah yang diterima pada tahun ke-i (Mg);
 tij = umur dari sektor ke-j dimana sampah dengan berat Mi diterima pada tahun ke-i.

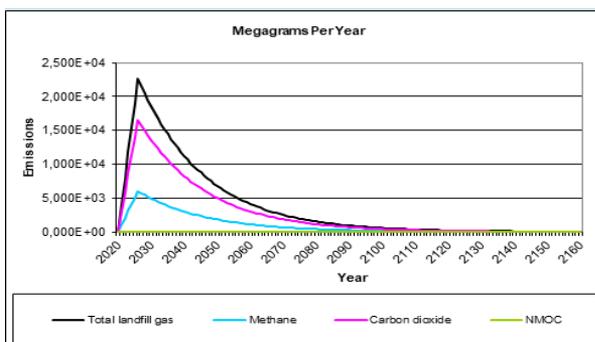
Berikut hasil perhitungan *methane generate default CAA* dan Inventory dapat dilihat pada Tabel 3. untuk grafiknya disajikan pada Gambar 3 dan 4.

Tabel 3. Hasil perhitungan gas metana dengan LandGEM

| Tahun | Methane Generate (Gg/Tahun) | |
|-------|-----------------------------|-------------------|
| | CAA-Konvensional | Inventory default |
| 2020 | 0,00 | 0,00 |
| 2021 | 1,08 | 0,51 |
| 2022 | 2,12 | 1,01 |
| 2023 | 3,14 | 1,50 |
| 2024 | 4,13 | 1,98 |
| 2025 | 5,09 | 2,45 |
| 2026 | 6,03 | 2,92 |
| 2027 | 5,74 | 2,80 |
| 2028 | 5,46 | 2,69 |
| 2029 | 5,19 | 2,59 |
| 2030 | 4,94 | 2,49 |

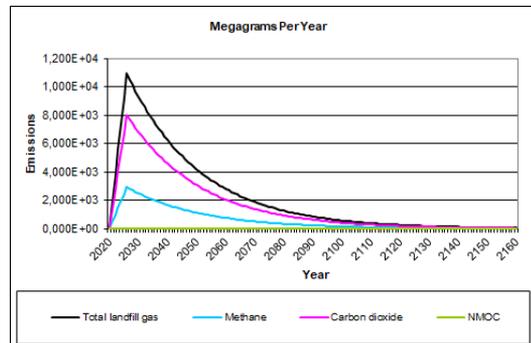
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari Tabel 3 diatas dapat dilihat nilai *methane generate* terbesar adalah tahun 2026 dengan emisi gas metana sebesar 6,03 Gg/tahun untuk default CAA-Konvensional dan sebesar 2,92 Gg/tahun untuk Default Inventory, menurut USEPA (2005) batas waktu produksi gas metana pada model LandGEM adalah 80 tahun atau lebih jika nilai gas metana masih belum bernilai nol.



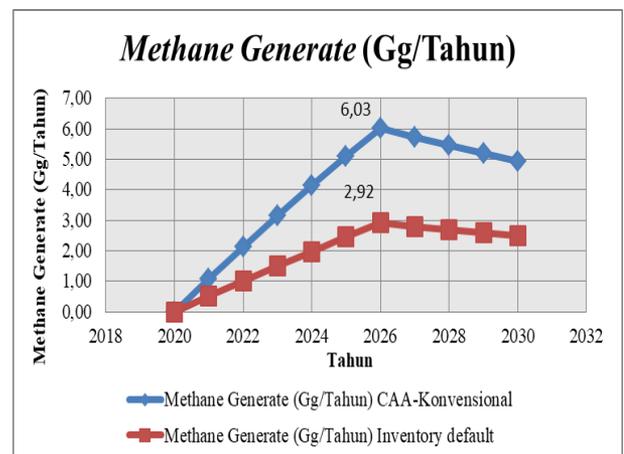
Gambar 3 Grafik hasil model LandGEM Default CAA-Konvensional

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)



Gambar 4. Grafik hasil model LandGEM Inventory Default
 (Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Berikut ini grafik perbandingan pendugaan emisi gas metan dengan model landGEM Default CAA-Konvensional dan Inventory Default disajikan pada Gambar 5:



Gambar 5. Grafik Perbandingan hasil model LandGEM
 (Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Dari Gambar 5 dapat diketahui nilai puncak emisi gas metan berada pada tahun 2026 dengan emisi gas metana sebesar 6,03 Gg/tahun untuk default CAA-Konvensional dan sebesar 2,92 Gg/tahun untuk Default Inventory.

3.1.2 Analisis Dampak Lingkungan menggunakan OpenLCA

Analisis *Life Cycle Assessment* (LCA) dilakukan sebagai langkah dalam menentukan dampak-dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan Landfilling di TPA Griyo Mulyo. Dengan menggunakan data produksi gas metana dari LandGEM sebagai masukan, analisis dampak lingkungan dilakukan menggunakan software OpenLCA. Dampak lingkungan dari kegiatan landfilling dievaluasi dalam berbagai kategori, termasuk kontribusi terhadap efek rumah kaca, perubahan iklim, dan kualitas udara lokal. Hasil analisis ini memberikan pemahaman tentang dampak lingkungan dari pengelolaan sampah di TPA Griyomulyo.

Untuk data input berupa timbunan sampah pada tahun 2023 yaitu sebesar 206.014,77 Mg/tahun output yang dimasukkan dalam model OpenLCA bisa dilihat pada tabel 4.

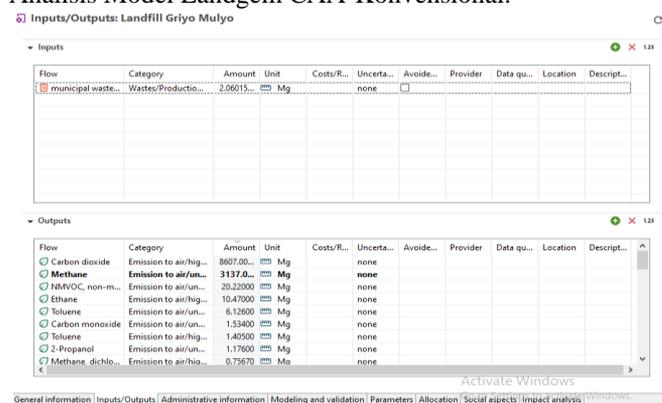
Tabel 4. Output berupa data inventory 2023 dari Analisis Model Landgem CAA-Konvensional

| Gas / Pollutant | Emission Rate (Mg/year) |
|--|----------------------------|
| Total landfill gas | 1,174E+04 |
| Methane | 3,137E+03 |
| Carbon dioxide | 8,607E+03 |
| NMOC | 2,022E+01 |
| 1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform) - HAP | 2,505E-02 |
| 1,1,2,2-Tetrachloroethane - HAP/VOC | 7,222E-02 |
| 1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride) - HAP/VOC | 9,291E-02 |
| 1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride) - HAP/VOC | 7,583E-03 |
| 1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride) - HAP/VOC | 1,587E-02 |
| 1,2-Dichloropropane (propylene dichloride) - HAP/VOC | 7,955E-03 |
| 2-Propanol (isopropyl alcohol) - VOC | 1,176E+00 |
| Acetone | 1,590E-01 |
| Acrylonitrile - HAP/VOC | 1,307E-01 |
| Benzene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC | 5,805E-02 |
| Benzene - Co-disposal - HAP/VOC | 3,361E-01 |
| Bromodichloromethane - VOC | 1,986E-01 |
| Butane - VOC | 1,137E-01 |
| Carbon disulfide - HAP/VOC | 1,727E-02 |
| Carbon monoxide | 1,534E+00 |
| Carbon tetrachloride - HAP/VOC | 2,407E-04 |
| Carbonyl sulfide - HAP/VOC | 1,151E-02 |
| Chlorobenzene - HAP/VOC | 1,101E-02 |
| Chlorodifluoromethane | 4,397E-02 |
| Chloroethane (ethyl chloride) - HAP/VOC | 3,281E-02 |
| Chloroform - HAP/VOC | 1,401E-03 |
| Chloromethane - VOC | 2,370E-02 |
| Dichlorobenzene - (HAP for para isomer/VOC) | 1,207E-02 |
| Dichlorodifluoromethane | 7,567E-01 |
| Dichlorofluoromethane - VOC | 1,047E-01 |
| Dichloromethane (methylene chloride) - HAP | 4,651E-01 |
| Dimethyl sulfide (methyl sulfide) - VOC | 1,896E-01 |
| Ethane | 1,047E+01 |
| Ethanol - VOC | 4,866E-01 |
| Ethyl mercaptan (ethanethiol) - VOC | 5,589E-02 |
| Ethylbenzene - HAP/VOC | 1,910E-01 |
| Ethylene dibromide - HAP/VOC | 7,349E-05 |
| Fluorotrichloromethane - VOC | 4,084E-02 |
| Hexane - HAP/VOC | 2,225E-01 |
| Hydrogen sulfide | 4,799E-01 |
| Mercury (total) - HAP | 2,276E-05 |
| Methyl ethyl ketone - HAP/VOC | 2,003E-01 |
| Methyl isobutyl ketone - HAP/VOC | 7,443E-02 |

| Gas / Pollutant | Emission Rate (Mg/year) |
|---|----------------------------|
| Methyl mercaptan - VOC | 4,704E-02 |
| Pentane - VOC | 9,313E-02 |
| Perchloroethylene (tetrachloroethylene) - HAP | 2,400E-01 |
| Propane - VOC | 1,897E-01 |
| t-1,2-Dichloroethene - VOC | 1,062E-01 |
| Toluene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC | 1,405E+00 |
| Toluene - Co-disposal - HAP/VOC | 6,126E+00 |
| Trichloroethylene (trichloroethene) - HAP/VOC | 1,439E-01 |
| Vinyl chloride - HAP/VOC | 1,785E-01 |
| Xylenes - HAP/VOC | 4,983E-01 |

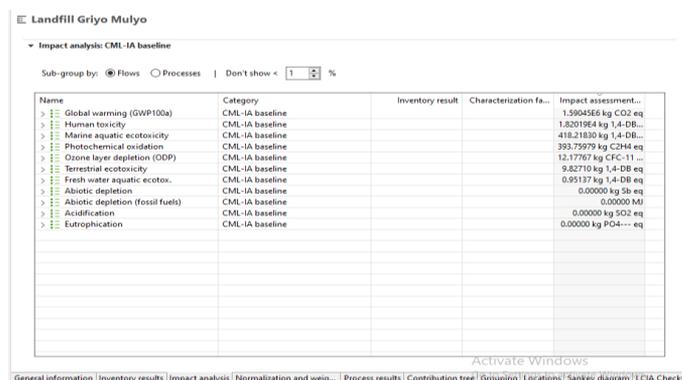
(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Data-data yang telah diperoleh akan dimasukkan ke dalam database OpenLCA 2.0.0 Metode di dalam software OpenLCA 2.0.0 yang akan digunakan adalah CML-IA baseline. Data-data yang akan dimasukkan adalah bahan baku berupa data timbulan sampah tahun 2023 sebagai input, dan outputnya didapatkan dari data inventory 2023 dari Analisis Model Landgem CAA-Konvensional.



Gambar 6. Input Output dalam software OpenLCA (Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Perkiraan dampak pada penelitian ini menggunakan software OpenLCA 2.0.0. Metode pada OpenLCA yang digunakan untuk memperkirakan besarnya dampak yang terjadi pada penelitian ini adalah metode CML-IA baseline. Metode CML-IA baseline dipilih karena sesuai dengan kebutuhan analisis.



Gambar 7 Impact Analysis dalam software OpenLCA

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Tabel 5. Dampak Lingkungan Kegiatan Landfilling TPA Griyo Mulyo Tahun 2023

| Name | Category | Impact assessment result | Unit |
|----------------------------------|-----------------|--------------------------|--------------|
| Global warming (GWP100a) | | 1,59E+06 | kg CO2 eq |
| Human toxicity | | 1,82E+04 | kg 1,4-DB eq |
| Marine aquatic ecotoxicity | | 4,18E+02 | kg 1,4-DB eq |
| Photochemical oxidation | | 3,94E+02 | kg C2H4 eq |
| Ozone layer depletion (ODP) | | 1,22E+01 | kg CFC-11 eq |
| Terrestrial ecotoxicity | CML-IA baseline | 9,83E+00 | kg 1,4-DB eq |
| Fresh water aquatic ecotox. | | 9,51E-01 | kg 1,4-DB eq |
| Abiotic depletion | | 0,00E+00 | kg Sb eq |
| Abiotic depletion (fossil fuels) | | 0,00E+00 | MJ |
| Acidification | | 0,00E+00 | kg SO2 eq |
| Eutrophication | | 0,00E+00 | kg PO4--- eq |

(Sumber : Hasil Analisis, 2023)

Hasil analisis dampak lingkungan tercantum dalam Tabel 5. Dampak lingkungan dalam beberapa kategori, seperti Global Warming Potential (GWP100a), toksisitas manusia, ekotoksitas akuatik laut, oksidasi fotokimia, penipisan lapisan ozon (ODP), ekotoksitas terestrial, ekotoksitas akuatik air tawar, penipisan abiotik, dan lain-lain.

3.2 Pembahasan

3.2.1 Produksi Gas Metana dan Variabilitasnya

Hasil prediksi produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo menggambarkan sejauh mana potensi emisi gas metana dari dekomposisi sampah di lokasi ini. Variabilitas dalam angka produksi gas metana dapat terjadi karena faktor-faktor seperti komposisi sampah yang berbeda, volume sampah yang masuk, serta kondisi degradasi yang dapat bervariasi dari waktu ke waktu. Ini menunjukkan pentingnya mengelola dan memantau karakteristik sampah serta kondisi operasional TPA secara berkelanjutan.

Hasil permodelan LandGEM memberikan gambaran mengenai produksi gas metana dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Griyo Mulyo selama periode 2020-2030. Produksi gas metana ini diprediksi berdasarkan volume dan karakteristik degradasi sampah yang ada. Data proyeksi timbunan sampah TPA Griyo Mulyo pada tahun-tahun tersebut digunakan sebagai input untuk model LandGEM. Produksi gas metana menjadi relevan karena gas metana adalah salah satu gas rumah kaca yang memiliki dampak terhadap perubahan iklim.

Faktor-faktor yang memengaruhi produksi gas metana dari TPA termasuk suhu rata-rata, curah hujan, dan karakteristik degradasi sampah. Berdasarkan kondisi wilayah kabupaten Sidoarjo dengan suhu rata-rata 30°C, parameter default yang digunakan dalam permodelan LandGEM adalah Default CAA-Konvensional tanpa asumsi tambahan air lindi. Parameter seperti laju pembentukan metan (k), kapasitas potensial pembentukan metan (L0), dan berat sampah pada tahun tertentu (Mi) juga digunakan dalam perhitungan.

Proyeksi produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo dihitung berdasarkan permodelan LandGEM dengan menggunakan data proyeksi timbunan sampah. Setelah menginput data tersebut ke dalam model, hasil perhitungan potensi gas metana di TPA Bengkala diperoleh. Grafik dan tabel menunjukkan perkiraan produksi gas metana dalam Gg/tahun (giga gram per tahun) untuk Default CAA-

Konvensional dan Inventory Default. Nilai terbesar diperoleh pada tahun 2026, menunjukkan periode dengan produksi gas metana puncak untuk Default CAA-Konvensional sebesar 6,03 Gg/tahun dan Inventory Default sebesar 2,92 Gg/ Tahun.

Analisis hasil model *LandGEM* menghasilkan perbandingan antara Default CAA-Konvensional dan Inventory Default dalam hal produksi gas metana. Grafik perbandingan menunjukkan perbedaan emisi gas metana dari kedua model dalam Gg/tahun. Data ini memberikan gambaran tentang bagaimana parameter dan asumsi yang berbeda dalam model dapat mempengaruhi hasil produksi gas metana.

Dampak lingkungan dari produksi gas metana sangat penting untuk diperhatikan, terutama karena gas metana memiliki potensi sebagai gas rumah kaca yang kuat. Dalam konteks ini, batas waktu produksi gas metana di model *LandGEM* adalah 80 tahun atau lebih. Hal ini mengacu pada estimasi waktu di mana produksi gas metana masih memiliki dampak signifikan sebelum nilai gas metana mencapai nol.

Secara keseluruhan, data dan analisis dari hasil permodelan *LandGEM* tentang produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo memberikan wawasan yang penting terkait dampak lingkungan dari timbunan sampah dan potensi gas metana yang dihasilkan. Analisis ini dapat membantu pengambilan keputusan terkait manajemen sampah dan mitigasi dampak lingkungan di wilayah tersebut.

3.2.2 Dampak Lingkungan dan Implikasinya

Analisis dampak lingkungan menggunakan *OpenLCA* dilakukan dengan memanfaatkan data inventori dari *LandGEM* sebagai output. Dampak lingkungan dari aktivitas landfilling dievaluasi dengan menggunakan metode CML-IA baseline dalam software *OpenLCA* 2.0.0. Metode ini dipilih karena sesuai dengan tujuan analisis yang dilakukan. Data yang digunakan mencakup timbunan sampah tahun 2023 sebagai input dan outputnya berasal dari data inventory Analisis Model Landgem CAA-Konvensional. Analisis ini bertujuan untuk memprediksi dampak lingkungan dari pengelolaan sampah di TPA Griyomulyo pada tahun 2023.

Analisis Dampak Lingkungan (LCA) adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi dampak suatu kegiatan atau produk terhadap lingkungan. Data yang Anda berikan adalah hasil dari analisis dampak lingkungan untuk kegiatan landfilling di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Griyo Mulyo pada tahun 2023. Berikut adalah interpretasi dari data yang didapat:

(1) *Global Warming Potential (GWP100a)* - CML-IA Baseline: Dampak ini diukur dalam satuan "kg CO₂ equivalent" dan memiliki nilai sebesar 1,59 juta kg CO₂eq. Ini mencerminkan jumlah emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kegiatan landfilling, dengan fokus pada potensi pemanasan global dalam periode 100 tahun.

(2) *Human Toxicity*: Dampak ini diukur dalam satuan "kg 1,4-DB equivalent" dan memiliki nilai sebesar 18.200 kg 1,4-DB eq. Ini mengindikasikan dampak toksisitas terhadap manusia akibat paparan bahan kimia tertentu dalam proses landfilling.

(3) *Marine Aquatic Ecotoxicity*: Nilai ini (418 kg 1,4-DB eq) mengukur dampak toksisitas terhadap ekosistem perairan laut akibat bahan kimia yang terlepas dari kegiatan landfilling.

(4) *Photochemical Oxidation*: Dampak ini (394 kg C2H4 eq) mengukur kontribusi ke reaksi kimia di atmosfer yang

dapat menyebabkan pembentukan ozon permukaan dan masalah kualitas udara lainnya.

(5) *Ozone Layer Depletion* (ODP): Dampak ini (12,2 kg CFC-11 eq) menunjukkan dampak terhadap penipisan lapisan ozon akibat pelepasan bahan kimia yang dapat merusak lapisan ozon.

(6) *Terrestrial Ecotoxicity*: Nilai ini (9,83 kg 1,4-DB eq) mencerminkan dampak toksisitas terhadap ekosistem daratan, seperti tanah dan vegetasi, akibat kegiatan landfilling.

(7) *Freshwater Aquatic Ecotoxicity*: Dampak ini (0,951 kg 1,4-DB eq) mengukur dampak toksisitas terhadap ekosistem perairan tawar akibat bahan kimia yang dilepaskan ke dalam air.

(8) *Abiotic Depletion dan Abiotic Depletion (Fossil Fuels)*: Nilai nol (0) menunjukkan bahwa tidak ada dampak yang diukur terkait dengan eksploitasi sumber daya abiotik, seperti mineral, atau depleksi bahan bakar fosil.

(9) *Acidification dan Eutrophication*: Nilai nol (0) menunjukkan bahwa tidak ada dampak yang diukur terkait dengan asidifikasi (peningkatan keasaman lingkungan) atau eutrofikasi (peningkatan nutrisi yang berlebihan dalam ekosistem perairan).

Hasil ini adalah hasil dari analisis dampak lingkungan yang dilakukan pada tahun 2023 terhadap kegiatan landfilling di TPA Griyo Mulyo. Interpretasi ini memberikan gambaran tentang dampak-dampak lingkungan yang dihasilkan oleh kegiatan tersebut dalam berbagai kategori.

4. KESIMPULAN

Hasil prediksi produksi gas metana dari TPA Griyo Mulyo menunjukkan variabilitas dalam emisi gas metana yang dapat terjadi karena faktor-faktor seperti komposisi sampah yang berbeda, volume sampah yang masuk, dan kondisi degradasi yang bervariasi dari waktu ke waktu. Proyeksi produksi gas metana menggunakan model *LandGEM* periode 2020-2030 dengan parameter suhu rata-rata 30°C, dan hasilnya menunjukkan puncak produksi gas metana pada tahun 2026, dengan nilai 6,03 Gg/tahun untuk Default CAA-Konvensional dan 2,92 Gg/tahun untuk Inventory Default.

Analisis dampak lingkungan menggunakan OpenLCA pada landfill TPA Griyo Mulyo tahun 2023 menunjukkan dampak yang signifikan terhadap perubahan iklim, toksisitas manusia, dan ekosistem laut. Emisi gas rumah kaca mencapai 1,59 juta kg CO₂eq, sementara toksisitas manusia dan ekosistem laut masing-masing mencapai 18.200 kg dan 418 kg 1,4-DB eq. Terdapat pula dampak terhadap kualitas udara dan lapisan ozon, meskipun dengan tingkat yang lebih rendah. Tidak ada dampak yang signifikan terkait eksploitasi sumber daya abiotik, asidifikasi, atau eutrofikasi. Analisis ini menyoroti pentingnya pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih Penulis sampaikan kepada pemerintah Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Sidoarjo dan masyarakat sekitar TPA Griyo Mulyo atas bantuan dan dukungan yang telah diberikan selama proses penelitian berlangsung sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik tanpa adanya halangan untuk mendapatkan data timbunan Sampah.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, A. R., & Johnson, K. L. (2017). "Comparative Analysis of Methane Gas Production Estimates from Landfills using LandGEM and Other Models." *Environmental Engineering Science*, 34(5), 345-356.
- Chen, L., Wang, Y., & Liu, G. (2019). "Life Cycle Assessment of Methane Emissions from Landfills using OpenLCA: A Case Study in China." *Journal of Cleaner Production*, 210, 567-578.
- Gonzalez, A. L., & Smith, R. T. (2018). "Modeling Landfill Methane Emissions and Their Environmental Impact using LandGEM and OpenLCA: A Comparative Study." *Waste Management*, 80, 123-134.
- IPCC. (2013). "Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Cambridge University Press.
- Jones, S. M., & White, D. G. (2019). "A Comparative Assessment of Methane Gas Production and its Environmental Effects from Landfills using LandGEM and OpenLCA." *Environmental Technology & Innovation*, 14, 123-134.
- Kim, Y., Park, M., & Lee, J. (2018). "Predicting Methane Gas Emissions and Evaluating their Environmental Significance from Landfills using LandGEM and OpenLCA." *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(5), 678-689.
- Kjeldsen, P., Barlaz, M. A., Rooker, A. P., Baun, A., Ledin, A., & Christensen, T. H. (2020). "Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 32(4), 297-336.
- Kumar, R., Singh, R., & Kumar, S. (2019). "Life Cycle Assessment of Methane Emissions from Landfills using OpenLCA: A Case Study in India." *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(5), 678.
- Lee, H., Kim, J., & Park, J. (2018). "Predicting Methane Gas Production and its Environmental Consequences in Landfills using LandGEM and OpenLCA." *Journal of Environmental Management*, 210, 345-356.
- Martinez, A. B., & Garcia, C. D. (2020). "Modeling Methane Emissions and Assessing Environmental Impacts from Landfills using LandGEM and OpenLCA: A Comparative Analysis." *Waste Management & Research*, 38(9), 876-887.
- Smith, J. D., & Johnson, M. R. (2021). "Predicting Methane Gas Production and Environmental Impacts from Landfill Waste Management using the LandGEM Model." *Environmental Science and Pollution Research*, 28(10), 12345-12356.
- Wang, Q., Li, Z., & Wu, J. (2017). "Comparative Study of Methane Gas Production Prediction and Environmental Impacts from Landfills using LandGEM and OpenLCA." *Journal of Environmental Sciences*, 45, 123-134.

