

POTENSI EMISI GAS METANA (CH₄) DARI KEGIATAN LANDFILLING DI TPA MAKBON SORONG DENGAN PEMODELAN LANDGEM

Firmanullah Fadlil^{a,*}, Yusron Difinubun^b, Ainul Alim Rahman^a, Yusnita La Goa^a

^aProgram Studi Teknik Kimia, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

Jl. Kh. Ahmad Dahlan No. 01, Mariyat Pantai, Aimas, Kabupaten Sorong, Papua Barat 98418

^bProgram Studi Akuntansi, Universitas Pendidikan Muhammadiyah Sorong

Jl. Kh. Ahmad Dahlan No. 01, Mariyat Pantai, Aimas, Kabupaten Sorong, Papua Barat 98418

*E-mail: fadlilfirmanullah@gmail.com

Masuk Tanggal: 14 Agustus, revisi tanggal: 16 Agustus, diterima untuk diterbitkan tanggal: 20 Desember 2025

Abstrak

Permasalahan sampah semakin memburuk tiap tahun akibat pertumbuhan penduduk yang menyebabkan akumulasi sampah dan munculnya emisi LFG (*Landfill Gas*) seperti gas metana, yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Untuk mengatasi ini, penelitian menggunakan model LandGEM (*Landfill Gas Emission Model*) di TPA Makbon dilakukan. LandGEM adalah *software* yang digunakan untuk mengestimasi emisi gas metana yang dihasilkan oleh TPA dengan menggunakan persamaan kinetika orde 1. Tujuannya adalah mengukur potensi gas metana dalam penimbunan sampah di TPA Makbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata harian sampah yang dihasilkan mencapai 288 m³/hari dengan densitas rata-rata sampah di TPA Makbon adalah 557 kg/m³. Komposisi sampah mengindikasikan 20% sampah organik (sisa makanan dan ranting). Dengan Emisi gas metana yang dihasilkan sekitar 965,3 Mg/tahun dalam skenario NSPS *Applicability* dan 334 Mg/tahun dalam skenario *Emission Inventory*. Puncak produksi gas metana diperkirakan terjadi pada 2045.

Kata Kunci: Gas metana, Timbulan sampah, Komposisi sampah, Densitas sampah, LandGEM

Abstract

The waste problem is getting worse every year due to population growth, which causes waste accumulation and the emergence of LFG (*Landfill Gas*) emissions such as methane gas, which can cause environmental pollution. To overcome this, research using the LandGEM (*Landfill Gas Emission Model*) model at the Makbon landfill was conducted. LandGEM is software used to estimate methane gas emissions produced by landfills using first-order kinetic equations. The objective is to measure the potential for methane gas in the waste accumulation at the Makbon landfill. The research results show that the average daily waste generated reaches 288 m³/day, with an average waste density at the Makbon landfill of 557 kg/m³. The composition of the waste indicates that 20% is organic waste (food scraps and branches). Methane gas emissions are estimated to be approximately 965.3 Mg/year in the NSPS *Applicability* scenario and 334 Mg/year in the *Emission Inventory* scenario. The peak production of methane gas is expected to occur in 2045.

Keywords: Methane gas, Waste generation, Waste composition, Waste density, LandGEM

1. PENDAHULUAN

Masalah sampah yang semakin buruk setiap tahun memang menjadi perhatian serius di banyak negara. Indonesia sebagai negara dengan jumlah penduduk lebih dari 270 juta jiwa berpotensi mengalami masalah yang sama. Pertambahan

jumlah penduduk merupakan faktor utama yang berkontribusi pada pertumbuhan pembangunan sampah dan tempat pembuangan akhir (TPA) di perkotaan[1]. Peningkatan produksi sampah yang tidak diantisipasi dengan pengelolaan sampah yang efektif dapat menimbulkan berbagai

masalah, baik secara langsung maupun tidak langsung. Masalah yang muncul antara lain adalah penyebaran penyakit, kerugian ekonomi, global warming [2], kerusakan ekosistem, pencemaran lingkungan hingga penyebaran logam berat [3]. Oleh karena itu, diperlukan upaya serius untuk mengatasi masalah ini [4].

Kota-kota besar sering kali menghadapi masalah sampah yang lebih kompleks karena jumlah penduduk dan kepadatan permukiman yang tinggi [5]. Konsep *zero waste* atau pengelolaan sampah dengan tujuan meminimalisir volume sampah menjadi sangat penting. Pendekatan ini mendorong untuk menghindari pembuangan sampah ke TPA dan lebih mengutamakan daur ulang, pengurangan, dan penggunaan kembali sampah [6]. Contoh upaya lain yang sudah dilakukan seperti mengubah sampah tulang sisa ikan sebagai adsorben pemurnian minyak goreng bekas [7].

Di Indonesia, terdapat beberapa masalah dalam pengelolaan sampah. Contohnya tidak optimalnya penanganan sampah seperti yang terjadi di Sorong [8], kurangnya landasan hukum yang kuat yang mengatur pengelolaan sampah secara menyeluruh hingga tidak tepat gunanya teknologi yang digunakan. Hal ini berkontribusi pada kurangnya keseragaman dan konsistensi dalam pengelolaan sampah di berbagai daerah. Beberapa TPA masih mengadopsi metode pembakaran terbuka, yang menghasilkan polusi udara dan pencemaran lingkungan yang serius. Diperlukan pengelolaan TPA yang lebih modern dan ramah lingkungan, seperti metode pengolahan dengan menggunakan teknologi terkini [9].

Strategi terbaru dalam pengelolaan limbah dengan melihat limbah sebagai sumber daya bernilai nilai ekonomi dan berbagai aplikasi yang memungkinkan. Pendekatan ini melibatkan pemanfaatan kembali dan daur ulang sampah untuk menghasilkan produk baru, sehingga dapat mengurangi dampak lingkungan, menciptakan lapangan kerja dan memberikan manfaat ekonomi. Secara keseluruhan, pengelolaan sampah yang efektif dan berkelanjutan merupakan tantangan yang kompleks. Diperlukan kerja sama antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta untuk mengembangkan kebijakan dan praktik yang berkelanjutan dalam pengelolaan sampah [10].

Gas metana merupakan salah satu isu yang ditimbulkan oleh pembuangan sampah terhadap kesehatan manusia dan lingkungan [11]. Jika sampah tidak ditangani dengan baik, maka akan menumpuk di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), yang akan mengakibatkan sejumlah masalah [11]. Gas metana (CH_4) dan gas pencemar lainnya

akan dihasilkan oleh timbunan sampah tersebut [12].

Timbulan sampah adalah volume dan berat sampah yang dihasilkan oleh suatu masyarakat setiap hari oleh setiap individu, setiap bangunan, dan setiap ruas jalan [13]. Sebaran setiap komponen yang termasuk dalam sampah digambarkan dengan komposisinya [14]. Kepadatan sampah merupakan komponen penting yang terintegrasi dengan sistem perencanaan pengelolaan sampah [15].

TPA Makbon Sorong yang berada di Distrik Makbon merupakan tempat pembuangan akhir yang melayani 10 Distrik dan 41 Kelurahan di Kota Sorong dan sekitarnya. Jarak TPA Makbon dengan pusat Kota Sorong sekitar 10 km. Terdapat 1 Blok Eksisting di dalam lahan seluas 10 Ha yang membentuk TPA Makbon. Setiap harinya terdapat 18 truk sampah yang mengangkut sampah dari Kota Sorong dan sekitarnya masuk ke TPA Makbon. Truk sampah beroperasi datang ke TPA Makbon 2-3 kali setiap hari tergantung intensitas jumlah sampah ada. Atau sekitar 288 m³/hari (DLH Sorong, 2025) jumlah sampah yang dikirimkan ke TPA Makbon. Data densitas sampah rata-rata adalah 557 kg/m³.

Emisi metana dari *landfill* dapat diperkirakan dengan berbagai macam metode model matematik [16][17][18]. Terdapat model yang dapat memprediksi laju emisi dengan lebih akurat dan sesuai dengan data lapangan. Yang paling umum dan luas digunakan adalah model IPCC, Triangular dan SWEET. Namun terdapat banyak batasan pada model – model tersebut dan ketidakpastian dalam memprediksi LFG (*Landfill Gas*) dari tempat pembuangan. Selain itu terdapat kekurangan data dari regenerasi MSW (*Municipal Solid Waste*), pembuangan dan data iklim [19]. *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM) adalah metode estimasi otomatis yang dapat digunakan untuk menghitung jumlah emisi dari pembuangan limbah padat kota (sampah) [5][20]. LandGEM adalah perangkat lunak yang dirancang khusus untuk memperkirakan emisi gas dari tempat pembuangan sampah. Dengan menggunakan model matematis tertentu, LandGEM dapat mengestimasi jumlah dan jenis gas yang dihasilkan dari aktivitas pembusukan sampah di tempat pembuangan seperti metana, karbondioksida, non metal *organic compound* dari tempat pembuangan sampah tertentu [20].

Model emisi gas LandGEM telah digunakan oleh beberapa peneliti dan didapati menjadi model yang cukup baik untuk memprediksi emisi LFG [21], [22]. Studi yang dilakukan oleh Sil et al. [22], menggunakan metode landGEM menunjukkan bahwa, emisi metana dari dua kota

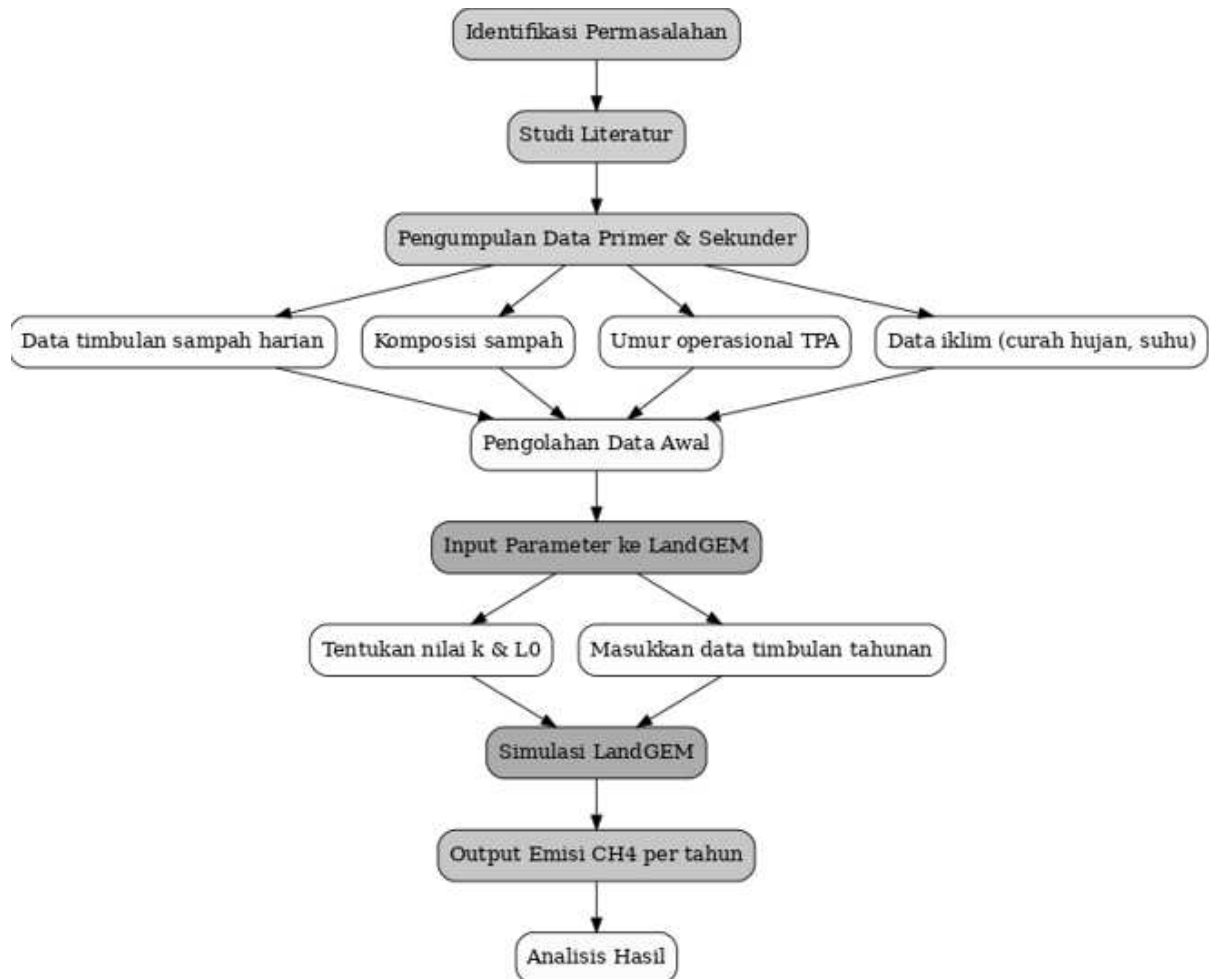
di Mumbai (India) adalah 5524 dan 5630x10⁶ cu.m/tahun. Pada studi lain, emisi metana untuk tahun 2018, 2023, 2028, dan 2033 adalah 205, 410, 549, dan 671 cu/tahun. Studi lain juga dilakukan oleh Royend dkk tentang potensi pemanfaatan gas metana untuk pembangkit listrik di Kota Jayapura[23]. Banyak peneliti yang melakukan studi lain tentang estimasi emisi metana menggunakan LandGEM, namun belum ada penelitian yang dilakukan di TPA Makbon. Sehingga penelitian bertujuan untuk menghitung jumlah gas di *landfill* seperti metana sebagai

potensi sumber energi yang dihasilkan oleh TPA Makbon.

2. METODE

2.1. Penentuan Lokasi dan Pengumpulan Data

Identifikasi TPA Makbon sebagai lokasi penelitian dan pengumpulan data serta informasi tentang karakteristik TPA Makbon, seperti luas lahan, tahun pembukaan, timbunan sampah, dan teknologi yang digunakan dan sebagainya.



Gambar 1. Flowchart Metodologi

2.2. Analisis Timbunan, Komposisi dan Densitas Sampah

Pengambilan data timbunan didapatkan dari wawancara langsung dengan petugas Dinas Lingkungan Hidup Kota Sorong yaitu berjumlah 288 m³/hari atau 58.551 ton/tahun setara 58.551 metrik ton/tahun. Data jumlah penduduk di Kota Sorong berikut.

Tabel 1. Data Jumlah Penduduk Tahun 2023 - 2025

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2023	294.978
2024	298.742
2025	302.452

Dengan data jumlah penduduk dan jumlah sampah maka dapat diprediksi jumlah sampah untuk beberapa tahun ke depan. Asumsi model yang digunakan yaitu rasio sampah per kapita tetap sepanjang waktu. Sehingga menggunakan persamaan :

$$P(t) = 294,978 + (t-2023) \times 3,737 \quad (1)$$

$$S(t) = P(t) \times w \quad (2)$$

Dimana : P(t) = prediksi pertumbuhan penduduk, t = tahun, S(t) = jumlah sampah (ton/tahun), w = timbunan sampah (0,193 ton/orang/tahun).

Komposisi jenis sampah didapatkan dari pengamatan di TPA Makbon kemudian data komposisi sampah digunakan sebagai prosedur pemasukan data model. Pendekatan SNI 19-3964-1994 sebagai metode pengambilan sampel.

2.2. Pemodelan Menggunakan LandGEM

Berdasarkan perkiraan total sampah yang masuk setiap tahunnya, dilakukan analisis potensi gas metana di area TPA Makbon Kota Sorong, yang berfungsi mulai 2024 - 2044. Dipakai mulai tahun 2024 karena pada tahun tersebut dilakukan pembangunan ulang/baru TPA Makbon sehingga bisa dianggap sebagai tahun awal perhitungan. Data standar yang ada pada LandGEM digunakan untuk parameter model yang kemudian disesuaikan dengan keadaan lokasi penelitian. Model menggunakan persamaan kinetika orde 1 dan mengasumsikan komposisi *landfill* 50% gas metana, 50% CO₂ dengan sejumlah kecil NMOC(*non methane organic compound*). Model juga hanya fokus pada emisi dekomposisi anaerobik sampah di *landfill* dan tidak memperhitungkan emisi dari transport sampah, operasi alat berat, atau pembakaran terbuka. *Software* yang digunakan adalah LandGem 3.1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kota Sorong yang berada di Provinsi Papua Barat Daya menjadi sumber utama penghasil sampah TPA Makbon dengan jarak sekitar 10 km dari pusat Kota Sorong. Terdapat 1 Blok Eksisting di dalam lahan seluas 10 Ha yang membentuk TPA Makbon. Kota Sorong dengan 10 Distrik dan 41 Kelurahan merupakan sumber sampah yang dikirim ke TPA Makbon, dengan rata-rata sampah 288 m³/hari atau 58.551 ton/tahun. Sistem *Sanitary Landfill* digunakan oleh TPA Makbon untuk mengolah sampah. sistem tersebut dilengkapi dengan pipa pengumpul dan distribusi lindi.

3.1. Timbunan Sampah

Saat ini timbunan sampah yang ada di TPA Makbon belum dipasang sehingga belum ada pencatatan lengkap di TPA Makbon terkait jumlah sampah dan komposisi. Oleh karena itu akan dihitung estimasi jumlah sampah dan komposisi sampah yang masuk ke TPA Makbon dengan menggunakan persamaan (1) untuk tahun 2024 – 2044.

Berdasarkan hasil pada Tabel 2. Menunjukkan bahwa jumlah sampah meningkat setiap tahun. Sejalan dengan data dari SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional KLHK). Beberapa faktor yang mempengaruhi laju penciptaan sampah adalah peningkatan populasi,

pertumbuhan ekonomi, urbanisasi, dan ekspansi ekonomi.

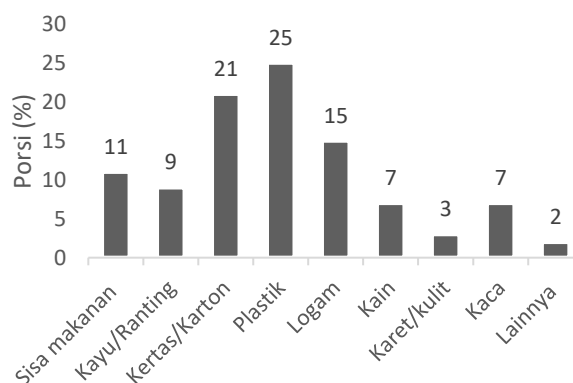
Tabel 2. Data Sampah yang Masuk di TPA Makbon

Tahun	Penduduk (jiwa)	Sampah (ton/tahun)	Sampah organik (ton/tahun)
2023	294.978	57.104,10	11.420
2024	298.715	57.827,55	11.565
2025	302.452	58.551,00	11.710
2026	306.189	59.274,45	11.854
2027	309.926	59.997,90	12.000
2028	313.663	60.721,34	12.144
2029	317.400	61.444,79	12.288
2030	321.137	62.168,24	12.433
2031	324.874	62.891,69	12.578
2032	328.611	63.615,13	12.723
2033	332.348	64.338,58	12.867
2034	336.085	65.062,03	13.012
2035	339.822	65.785,48	13.157
2036	343.559	66.508,93	13.301
2037	347.296	67.232,37	13.446
2038	351.033	67.955,82	13.591
2039	354.770	68.679,27	13.735
2040	358.507	69.402,72	13.880
2041	362.244	70.126,16	14.025
2042	365.981	70.849,61	14.169
2043	369.718	71.573,06	13.414
2044	373.455	72.296,51	14.459

3.2. Komposisi Sampah

Untuk memastikan jenis sampah yang dihasilkan di TPA Makbon didapatkan dari pengamatan di lokasi. Komposisi sampah dimasukkan ke dalam *software* LandGEM dengan komposisi berdasarkan Gambar 2.

Gambar 2 menampilkan unsur-unsur penyusun komposisi sampah di TPA Makbon. Gambar 2 menunjukkan porsi sampah yang ada, yaitu 11% sampah sisa makanan, 9% sampah kayu/ranting, 21% sampah kertas/karton, 25% sampah plastik, 15% sampah logam, 7% sampah kain, 3% sampah karet/kulit, 7% sampah kaca, dan 2% sampah lainnya. Proporsi sampah organik sebanyak 20% di TPA Makbon berada di bawah nilai rata-rata sampah organik yang ada di Indonesia (SIPSN, 2025), hal ini berimplikasi pada nilai Lo (jumlah metana maksimum yang dapat dihasilkan per ton sampah).



3.3. Perhitungan Potensi Gas Metana dengan LandGEM

Metode yang digunakan menggunakan 2 pendekatan yaitu NSPS *Applicability - Emission Inventory*, kemudian untuk parameter disesuaikan sedekat mungkin dengan kondisi di Sorong. Pada NSPS *Applicability* k (konstanta generasi metana) yang digunakan adalah 0,05/tahun[23][24], Lo (potensi generasi metana) 170 m³/mg dan NMOC (jumlah *volatile organic compound*) 4.000 ppmv sedangkan pada *Emission Inventory* k (konstanta generasi metana) yang digunakan adalah 0,033/tahun, DOC (*degradable organic compound*) 0,17 gC/g waste, dan NMOC 600[20]. Basis perhitungan sampah organik menggunakan campuran sampah sisa makanan dan kayu/ranting sejumlah 20% dari total sampah yang ada.

Berdasarkan hasil pada Tabel 3. menunjukkan bahwa, hasil perhitungan estimasi produksi gas metana menggunakan model LandGEM untuk skenario NSPS *Applicability* dan *Emission Inventory*. Angka-angka ini mencerminkan perkiraan jumlah gas metana yang dihasilkan dari sampah selama periode waktu yang ditentukan. Gas metana dihasilkan mulai dari tahun 2025 hingga 2044. Pada tahun 2024, tidak ada gas metana yang dihasilkan karena TPA baru dibangun/diperbaiki. Produksi gas metana meningkat seiring waktu, dan pada umumnya, estimasi gas metana yang dihasilkan dalam skenario NSPS *Applicability* lebih tinggi daripada skenario *Emission Inventory*. Puncak produksi gas metana terjadi pada tahun 2045 (hanya berdasarkan model LandGEM, bukan berdasarkan sumber referensi lain), dengan estimasi 965,3 Mg/tahun untuk NSPS *Applicability* dan 334 Mg/tahun untuk *Emission Inventory*. Jumlah metana yang dihasilkan setara dengan 0,54 MW listrik untuk NSPS *Applicability* dan 0,21 MW listrik untuk *Emission Inventory*. Setelah puncak tersebut, produksi gas metana cenderung menurun.

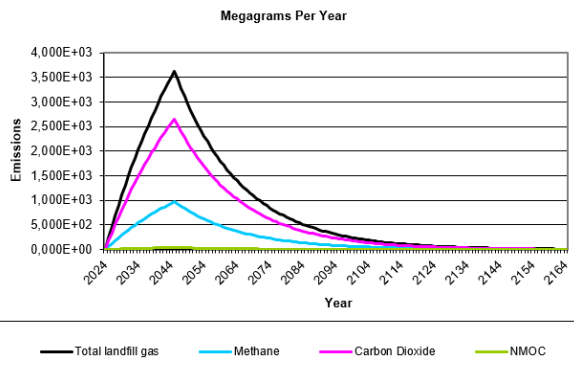
Nilai NSPS *Applicability* dan *Emission Inventory* memiliki nilai yang berbeda hal ini terjadi karena sedikit perbedaan parameter yang digunakan dimana NSPS memakai nilai konstanta laju peluruhan(k), dan potensi pembentukan gas metana (Lo) yang lebih tinggi dibandingkan dengan *Emission Inventory*, selain itu adanya over penilai karena juga disebabkan perbedaan tujuan penggunaan metode ini. Jika NSPS lebih bertujuan untuk menghitung emisi yang relevan dengan regulasi (supaya tidak melebihi regulasi), sedangkan *Emission Inventory* bertujuan untuk menghitung total emisi gas TPA yang mendekati

kenyataan. Namun prinsipnya tetap sama kedua metode yang digunakan pada *software* LandGEM bisa digunakan untuk menghitung potensi gas metana yang dihasilkan oleh suatu TPA. Model ini mengadopsi persamaan kinetika orde pertama (Orde 1) untuk memprediksi produksi dan pelepasan gas metana dari TPA. Persamaan orde pertama menjelaskan bahwa produksi gas metana secara bertahap meningkat seiring dengan waktu, mencapai puncaknya pada suatu titik dan kemudian melambat.

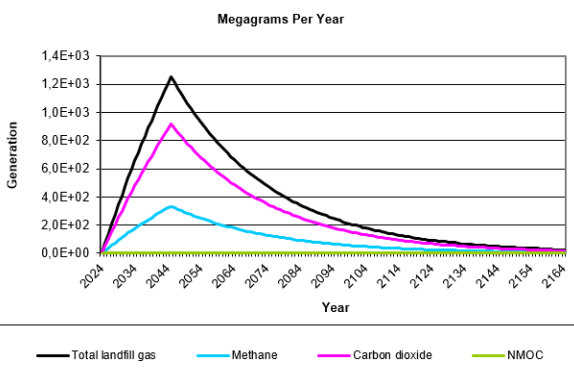
Tabel 3. Total Gas Metana yang dihasilkan setiap tahun

Tahun	Total Methane Gas (Mg/Tahun)	
	NSPS <i>Applicability</i>	<i>Emission Inventory</i>
2024	0	0
2025	63,3	19
2026	124,4	38
2027	183,2	56
2028	240,0	74
2029	294,9	92
2030	347,8	109
2031	399,0	126
2032	448,5	143
2033	496,4	159
2034	542,7	175
2035	587,6	191
2036	631,1	206
2037	673,3	222
2038	714,2	237
2039	753,9	251
2040	792,5	266
2041	830,0	280
2042	866,5	294
2043	902,0	308
2044	936,6	322
2045	965,3	334
2046	918,2	323
2047	873,4	312
2048	830,8	302
2049	790,3	292
2050	751,8	283

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 kita dapat lihat bahwa ketika operasional TPA sudah berhenti (tahun 2044-asumsi penulis), maka ternyata emisi gas metana masih tetap ada dengan penurunan jumlah yang teratur bahkan sampai 2144. Nampak bahwa emisi yang ditimbulkan oleh suatu TPA tidak berhenti pada tahun dimana TPA tersebut berhenti beroperasi, tapi tetap mengeluarkan emisi hingga 100 tahun kemudian.



Gambar 3. Total Gas Metana dan lainnya (NSPS Applicability)



Gambar 4. Total Gas Metana dan lainnya (NSPS Applicability)

Puncak produksi gas metana setahun setelah penutupan TPA dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu:

1. Proses dekomposisi limbah organik: Saat sampah organik terdekomposisi, bakteri anaerobik menghasilkan metana sebagai produk sampingan. Setelah penutupan TPA, proses dekomposisi tersebut masih berlanjut, dan ada kemungkinan bahwa masih ada jumlah besar sampah organik yang belum terurai sepenuhnya di dalam TPA. Proses dekomposisi ini dapat mencapai puncaknya karena sampah organik yang tertinggal dalam TPA telah mencapai kondisi optimal untuk pertumbuhan bakteri metanogen.
2. Peningkatan suhu: Setelah penutupan TPA, akses udara ke dalam TPA terbatas, yang dapat menyebabkan peningkatan suhu di dalamnya. Peningkatan suhu mempercepat proses dekomposisi dan produksi metana oleh bakteri metanogen
3. Perubahan kondisi di dalam TPA : Setelah penutupan TPA, dapat terjadi perubahan dalam kondisi mikrobiologis dan fisik di dalamnya. Mungkin terdapat peningkatan kelembaban, pH, atau ketersediaan nutrisi

yang menguntungkan pertumbuhan bakteri metanogen, sehingga menghasilkan puncak produksi metana.

Namun, setelah mencapai puncak produksi, produksi metana cenderung menurun seiring berjalannya waktu. Beberapa alasan mengapa produksi metana menurun setelah puncaknya meliputi:

1. Penurunan sumber makanan: Setelah beberapa waktu, jumlah sampah organik yang tersisa di dalam TPA akan berkurang secara signifikan. Kurangnya sumber makanan yang cukup bagi bakteri metanogen akan mengakibatkan penurunan produksi metana
2. Menurunnya kondisi lingkungan: Proses dekomposisi limbah organik di dalam TPA mengubah kondisi lingkungan secara bertahap. Perubahan pH, kelembaban, dan ketersediaan nutrisi dapat menjadi tidak menguntungkan bagi pertumbuhan bakteri metanogen. Hal ini dapat menghambat produksi metana.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi dan pengambilan sampel di TPA Makbon, diperoleh hasil sebagai berikut : Rata-rata jumlah sampah yang dihasilkan adalah 288 m³/hari atau 58.551 ton/tahun setara 58.551 metrik ton/tahun. Komposisi sampah adalah 11% sampah sisa makanan, 9% sampah kayu/ranting, 21% sampah kertas/karton, 25% sampah plastik, 15% sampah logam, 7% sampah kain, 3% sampah karet/kulit, 7% sampah kaca, dan 2% sampah lainnya.

Dengan menggunakan LandGEM dapat dihitung estimasi emisi gas metana di daerah Indonesia Timur terkhusus di TPA Makbon Sorong yaitu sekitar 965,3 Mg/tahun dalam skenario NSPS *Applicability* dan 334 Mg/tahun dalam skenario *Emission Inventory* atau setara dengan potensi energi listrik sebesar 0,54 MW listrik untuk NSPS *Applicability* dan 0,21 MW listrik untuk *Emission Inventory* tiap tahunnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. M. Anifah, I. D. W. S. Rini, R. Hidayat, and M. Ridho, "Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (Grk)," *J. Sains dan Teknol. Lingkungan*, vol. 13, no. 1, pp. 17–33, 2021.
- [2] F. Fadlil, A. A. Rahman, Y. La Goa, and Y. Diffinubun, "Study Awal Pengelolaan Food Waste terhadap Global Warming (Pemanasan Global) di Kota Sorong," vol.

- 5, no. 1, 2025.
- [3] A. A. Rahman, F. Fadlil, and H. Tuheteru, "Analisis Kadar Logam Tembaga (Cu) dan Besi (Fe) dalam Air Laut di Wilayah Pesisir Jembatan Puri Kota Sorong," *J. Agit.*, vol. 3, no. 2, pp. 1–5, 2023, [Online]. Available: <https://unimuda.e-journal.id/jurnalagitasi/article/view/5852>
- [4] J. A. Nia Ramadhani Haryadi1), Aryo Sasmita2), "Proyeksi Timbulan Sampah dari Kegiatan Landfilling di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kecamatan Mandau," vol. 5, pp. 167–186, 2021.
- [5] Monice Perinov, "Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di TPA Muara Fajar Pekanbaru," *Rang Tek. J.*, vol. I, no. 2, 2018.
- [6] A. A. Musyafiq and B. N. Cahyo, "Pemilihan Teknologi Waste To Energy Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Studi Kasus: Tpa Mojorejo Kabupaten Sukoharjo Jawa Tengah)," *Pros. Sains Nas. dan Teknol.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–18, 2018, doi: 10.36499/psnst.v1i1.2353.
- [7] S. Malik S. Herembia, Y. La Goa, dan F. Fadlil, "Pemanfaatan Limbah Tulang Ikan Layaran (Istiophorus platypterus) Sebagai Adsorben Pada Pemurnian Minyak Goreng Bekas Indonesia adalah Negara kepulauan yang memiliki potensi," vol. 3, no. 2, pp. 6–10, 2023.
- [8] F. Fadlil, A. A. Rahman, Y. La Goa, and Y. Dfinubun, "Analisis Penanganan Sampah di Papua Barat Daya Timbunan Sampah vs Tahun," vol. 4, no. 1, pp. 2–5, 2024.
- [9] R. Mahyudin, "KAJIAN PERMASALAHAN PENGELOLAAN SAMPAH DAN DAMPAK LINGKUNGAN DI TPA (TEMPAT PEMROSESAN AKHIR)," *Jukung (Jurnal Tek. Lingkungan)*, vol. 3, Apr. 2017, doi: 10.20527/jukung.v3i1.3201.
- [10] A. C. Das and D. Mukherjee, "Asesmen Potensi Recovery Energi Dari Sampah," *Appl. Soil Ecol.*, vol. 14, pp. 55–62, 2000.
- [11] R. Alfian and A. Phelia, "Evaluasi Efektifitas Sistem Pengangkutan Dan Pengelolaan Sampah Di Tpa Sarimukti Kota Bandung," *JICE (Journal Infrastructural Civ. Eng.)*, vol. 2, no. 01, p. 16, 2021, doi: 10.33365/jice.v2i01.1084.
- [12] T. Artiningrum, "Potensi Emisi Metana (Ch 4) Dari Timbulan Sampah," *Geoplanart*, vol. 1, no. 1, pp. 36–44, 2018.
- [13] E. F. Dedi Sofriadi, Suhendrayatna, "ESTIMASI EMISI KARBON DARI SAMPAH PERMUKIMAN DENGAN METODE IPCC DI KECAMATAN ULEE KARENG, BANDA ACEH," vol. 1, pp. 339–348, 2017.
- [14] M. W. Wardiha, P. S. Putri, L. M. Setyawati, and Muhajirin, "Timbulan Dan Komposisi Sampah Di Kawasan Perkantoran Dan Wisma," *J. Presipitasi Media Komun. dan Pengemb. Tek. Lingkung.*, vol. 10, no. 1, pp. 7–17, 2014.
- [15] D. S. A. Hapsari and W. Herumurti, "Laju Timbulan dan Komposisi Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Sukolilo Surabaya," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.24623.
- [16] G. Di Bella, D. Di Trapani, and G. Viviani, "Evaluation of methane emissions from Palermo municipal landfill: Comparison between field measurements and models," *Waste Manag.*, vol. 31, no. 8, pp. 1820–1826, 2011, doi: 10.1016/j.wasman.2011.03.013.
- [17] S. Fallahizadeh, M. Rahmatinia, Z. Mohammadi, M. Vaezzadeh, A. Tajamiri, and H. Soleimani, "Estimation of methane gas by LandGEM model from Yasuj municipal solid waste landfill, Iran," *MethodsX*, vol. 6, no. December 2018, pp. 391–398, 2019, doi: 10.1016/j.mex.2019.02.013.
- [18] J. Mønster, J. Samuelsson, P. Kjeldsen, and C. Scheutz, "Quantification of methane emissions from 15 Danish landfills using the mobile tracer dispersion method," *Waste Manag.*, vol. 35, pp. 177–186, 2015, doi: 10.1016/j.wasman.2014.09.006.
- [19] A. Maalouf and M. El-Fadel, "Optimizing emissions and carbon credit from integrated solid waste and wastewater management: A MATLAB-based model with a Graphical User Interface (v1)," *MethodsX*, vol. 7, p. 100839, 2020, doi: 10.1016/j.mex.2020.100839.
- [20] M. Krause and S. Thorneloe, "Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.1 User Manual and Tool," *U.S. EPA Off. Res. Dev.*, no. December, 2024, [Online]. Available: EPA/600/B-24/160
- [21] N. Amirmahani, S. Sadeghi, G. Yazdanpanah, A. Tayebian, A. Nasiri, and M. Malakootian, "Estimating methane gas generation rate from Kerman City landfill using LandGEM software," *Int. J. Environ. Waste Manag.*, vol. 26, no. 4, pp. 520–530, 2020, doi: 10.1504/IJEW.2020.110399.
- [22] R. (2014) Sil, A., Kumar, S. and Kumar,

- “Formulating LandGem model for estimation of landfill gas under Indian scenario Avick Sil * Sunil Kumar Rakesh Kumar,” *Int. J. Environ. Technol. Manag.*, vol. 17, no. 2/3/4, pp. 293–299, 2014.
- [23] L. Modeling, C. Study, T. P. A. Koya, and K. Kota, “Potensi Pemanfaatan Sumber Energi Alternatif Gas Metana untuk Pembangkit Listrik 3 MW Menggunakan Pemodelan Landgem (Studi Kasus : TPA Koya Koso Kota Jayapura) Methane Gas Alternative Energy Resource Utility Potential for 3 MW Power Plant Using,” vol. 5, pp. 349–358, 2023.
- [24] L. A. N. W. Nurjaya and T. Agung Rachmanto, “Potensi Produksi Gas Metana (CH₄) dari Kegiatan Landfilling di TPA Bengkala Kabupaten Buleleng dengan Kombinasi Permodelan LandGEM, IPCC, dan LCA,” *J. Envirotek*, vol. 15, no. 2, pp. 114–123, 2023, doi: 10.33005/envirotek.v15i2.262.