

Estimasi Produksi Emisi Gas Metana (CH_4) dari Kegiatan Landfilling Menggunakan IPCC Model TPA di Jawa Timur

Agges Brian Darmawan, Restu Hikmah Ayu Murti*, R. Mohammad Alghaf Dienullah

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

*Koresponden email: restu.hikmah.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 25 Juli 2026

Disetujui: 01 Agustus 2026

Abstract

Municipal solid waste management in Indonesia remains predominantly reliant on open landfilling, where anaerobic decomposition of organic waste generates significant methane (CH_4) emissions contributing to global warming. This study estimated potential CH_4 production from landfilling activities TPA in East Java, using the IPCC 2006 Guidelines Tier 2 method. Activity data were obtained through eight-day sampling of waste composition and density, referring to Indonesian National Standard (SNI) 3964:2025, combined with annual waste generation data for 2021–2025. Results showed landfill waste input increased from 41,298 tons in 2021 to 55,501 tons in 2025, dominated by high-DOC (Degradable Organic Carbon) fractions such as food waste (22.11%), paper (10.92%), and disposable nappies (7.43%). Based on the IPCC Tier 2 model, CH_4 emissions rose progressively from 0.056 Gg/year in 2022 to 0.266 Gg/year in 2025, projected to reach 0.299 Gg/year in 2027 as landfilled waste accumulates. These findings provide a baseline estimate of landfill CH_4 production without gas-capture infrastructure, useful for landfill gas management planning at TPA. Further research is recommended to validate the model through periodic emission monitoring and explore methane utilization as a renewable energy source.

Keywords: *municipal solid waste, landfill gas, solid waste composition, ipcc model, methane emission*

Abstrak

Pengelolaan sampah kota di Indonesia masih didominasi oleh metode penimbunan terbuka (*open landfilling*), di mana dekomposisi anaerobik sampah organik menghasilkan emisi gas metana (CH_4) yang signifikan dan berkontribusi terhadap pemanasan global. Penelitian ini mengestimasi potensi produksi CH_4 dari kegiatan landfilling TPA di Jawa Timur, menggunakan metode IPCC 2006 Guidelines Tier 2. Data aktivitas diperoleh dari sampling komposisi dan densitas sampah selama delapan hari mengacu SNI 3964:2025, dipadukan dengan data timbulan sampah tahunan periode 2021–2025. Hasil penelitian menunjukkan timbulan sampah yang masuk ke TPA meningkat dari 41.298 ton pada 2021 menjadi 55.501 ton pada 2025, didominasi oleh fraksi berkadar Degradable Organic Carbon (DOC) tinggi seperti food waste (22,11%), paper (10,92%), dan disposal nappies (7,43%). Berdasarkan model IPCC Tier 2, emisi CH_4 meningkat secara progresif dari 0,056 Gg/tahun pada 2022 menjadi 0,266 Gg/tahun pada 2025, dan diproyeksikan mencapai 0,299 Gg/tahun pada 2027 seiring bertambahnya akumulasi sampah yang ditimbun. Temuan ini menjadi estimasi baseline produksi gas metana landfill tanpa infrastruktur penangkapan gas, bermanfaat bagi perencanaan pengelolaan gas landfill di TPA. Penelitian lanjutan disarankan untuk memvalidasi model melalui pemantauan emisi berkala serta mengkaji pemanfaatan gas metana sebagai sumber energi terbarukan.

Kata Kunci: *limbah padat perkotaan, gas tempat pembuangan sampah, komposisi sampah, model ipcc, emisi metana*

1. Pendahuluan

Pengelolaan sampah di sebagian besar kota/kabupaten di Indonesia masih menerapkan paradigma lama, yaitu kumpul–angkut–buang, dengan sekitar 60% sampah pada akhirnya dibuang ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) [1]. Secara nasional, Indonesia menghasilkan 56,63 juta ton sampah per tahun, namun hanya 39,01% ($\pm 22,09$ juta ton) yang berhasil dikelola dengan baik, sedangkan sisanya masih ditimbun tanpa penanganan yang memadai [2]. Peningkatan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat modern mendorong lonjakan volume timbulan sampah secara signifikan di berbagai wilayah, termasuk di kawasan-kawasan yang menjadi pusat aktivitas ekonomi dan sosial [3]. TPA menerima beban timbulan terbesar dari rantai pengelolaan sampah kota, dan sampah yang tertimbun mengalami perubahan fisik, kimia, dan biologis simultan, termasuk pembentukan lindi dan gas berbahaya melalui dekomposisi anaerobik [4]. Fase akhir dekomposisi tersebut, metanogenesis, menghasilkan gas metana

(CH₄) dengan proporsi 45–60% dari total gas landfill [5]. Besarnya produksi CH₄ ditentukan oleh kandungan *Degradable Organic Carbon* (DOC) pada tiap komponen sampah organik, di mana hanya sekitar 50%-nya (DOC fraction, DOC_f) yang benar-benar terdekomposisi dan berkontribusi pada pembentukan metana [6]. Signifikansi masalah ini diperbesar oleh fakta bahwa CH₄ memiliki potensi pemanasan global jauh lebih tinggi dibandingkan CO₂ untuk massa yang setara [7].

Pengelolaan sampah yang belum optimal tidak hanya menyebabkan peningkatan volume timbunan sampah, tetapi juga memperbesar kontribusi sektor persampahan terhadap emisi gas rumah kaca. Landfill merupakan salah satu sumber antropogenik utama emisi metana akibat berlangsungnya degradasi anaerobik bahan organik yang terus terakumulasi [8]. Oleh karena itu, pengurangan emisi metana dari landfill menjadi salah satu strategi penting dalam mitigasi perubahan iklim, baik melalui pengurangan sampah yang ditimbun, peningkatan kegiatan pengomposan dan daur ulang, maupun pemanfaatan gas landfill sebagai sumber energi terbarukan [9].

Pendekatan estimasi emisi IPCC 2006 Guidelines merupakan metode perhitungan yang dikembangkan untuk mengestimasi emisi gas rumah kaca dari berbagai sektor, termasuk sektor pembuangan sampah [10]. Model ini mampu mengestimasi potensi produksi gas metana berdasarkan data komposisi sampah, laju timbunan, dan karakteristik operasional landfill secara temporal, sehingga menghasilkan baseline emisi yang dapat dijadikan dasar perencanaan pengelolaan gas landfill yang lebih terarah [11]. Selain itu, hasil estimasi emisi juga dapat dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi kebijakan pengelolaan sampah dan perencanaan teknologi pengendalian emisi, seperti penerapan *sanitary landfill*, sistem penangkapan gas metana (*landfill gas recovery*), maupun peningkatan pengolahan sampah organik [12].

Peningkatan emisi metana dipengaruhi oleh akumulasi timbunan sampah yang terus bertambah di tempat pemrosesan akhir (TPA). Semakin besar volume sampah yang ditimbun, khususnya fraksi organik seperti sisa makanan, sampah kebun, kayu, dan kertas, maka semakin banyak bahan organik yang mengalami degradasi secara anaerobik [13]. Proses tersebut menghasilkan gas landfill yang terdiri atas metana (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), di mana metana merupakan komponen yang memiliki potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) sekitar 28 kali lebih besar dibandingkan karbon dioksida dalam periode 100 tahun [14]. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa peningkatan timbunan sampah yang tidak diimbangi dengan sistem pengelolaan yang memadai akan meningkatkan emisi gas rumah kaca dari sektor persampahan. Oleh karena itu, estimasi emisi metana diperlukan sebagai dasar dalam penyusunan strategi pengelolaan sampah yang lebih efektif dan berkelanjutan [15].

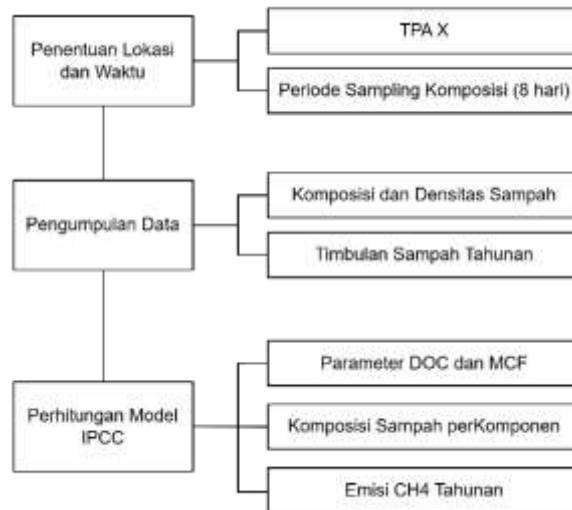
Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi potensi produksi gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari kegiatan landfilling TPA di Jawa Timur, menggunakan model IPCC 2006 Guidelines Tier 2, dengan data aktivitas berbasis komposisi dan densitas sampah hasil sampling lapangan serta data timbunan sampah tahunan. Pendekatan ini menghasilkan estimasi produksi gas metana yang lebih representatif terhadap kondisi aktual di TPA, sekaligus memperkuat validitas ilmiah dari hasil perhitungan model IPCC.

2. Metode Penelitian

Tahap pertama adalah penentuan lokasi dan waktu. Penelitian dilaksanakan di TPA, yang ditetapkan sebagai lokasi penelitian karena merupakan sumber emisi gas landfill yang menjadi objek penelitian. Pengambilan sampel komposisi sampah dilakukan selama periode sampling delapan hari berturut-turut, mengikuti ketentuan jumlah hari pengamatan minimum untuk memperoleh data komposisi sampah yang representatif terhadap kondisi timbunan harian di TPA.

Tahap kedua adalah pengumpulan data, yang mencakup dua jenis data utama. Data pertama berupa komposisi dan densitas sampah, diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan selama periode sampling yang telah ditentukan. Data kedua berupa timbunan sampah tahunan, diperoleh dari data historis pengelola TPA yang mencatat volume sampah masuk ke landfill dari tahun 2021 sampai 2025. Kedua data tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar penentuan data aktivitas dalam perhitungan model pada tahap berikutnya.

Tahap ketiga adalah perhitungan model IPCC. Pada tahap ini, tiga komponen data diolah secara terintegrasi, yaitu parameter DOC (*Degradable Organic Carbon*) dan MCF (*Methane Correction Factor*) yang menjadi konstanta perhitungan sesuai kondisi operasional landfill, data komposisi sampah per komponen yang telah diperoleh dari hasil sampling, serta hasil timbunan sampah tahunan dari data sekunder. Ketiga komponen tersebut diproses menggunakan model IPCC 2006 Guidelines Tier 2 untuk menghasilkan estimasi emisi CH₄ tahunan dari kegiatan landfilling di TPA.



Gambar 1. Skema Metode Penelitian

TPA ini berlokasi di Provinsi Jawa Timur dan merupakan fasilitas pemrosesan akhir yang melayani pembuangan sampah dari kecamatan di wilayah sekitarnya, dengan volume timbulan sampah yang terus meningkat setiap tahun seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi di wilayah layanannya. Sistem pengelolaan yang diterapkan di TPA masih berupa penimbunan dengan tanah urugan (*controlled landfilling*) yang belum optimal tanpa infrastruktur penangkapan gas metana.

Penelitian dilaksanakan TPA di Jawa Timur, yang dipilih sebagai lokasi kajian karena merupakan sumber emisi gas landfill utama yang melayani pembuangan sampah dari wilayah sekitarnya. Pengambilan sampel komposisi dan densitas sampah dilaksanakan selama delapan hari berturut-turut menurut SNI 3964:2025 [8], sesuai periode sampling yang ditetapkan pada tahap perencanaan, untuk memperoleh gambaran komposisi sampah harian yang representatif terhadap kondisi timbulan aktual di TPA.

Data komposisi dan densitas sampah hasil pengukuran lapangan selama delapan hari menunjukkan densitas sampah berkisar antara 96,3–127,1 kg/m³, dengan rata-rata sebesar 110,503 kg/m³. Hasil sampling komposisi sampah menunjukkan bahwa komponen sampah terdiri atas food waste, garden, paper, wood and straw, textile, disposal nappies, sewage sludge, industrial waste, dan sampah campuran lainnya (plastik, logam, karet, kaca, dan residu), sebagaimana disajikan pada **Tabel 1** dan **Tabel 2**.

Tabel 1. Densitas Sampah

Sampling	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	Volume (m ³)	Berat Sampah (kg)	Densitas Sampah (kg/m ³)
Hari-1	1	0,5	1	0,5	63,55	127,1
Hari-2	1	0,5	1	0,5	55,3	110,6
Hari-3	1	0,5	1	0,5	58,3	116,6
Hari-4	1	0,5	1	0,5	54,9	109,8
Hari-5	1	0,5	1	0,5	53,6	107,2
Hari-6	1	0,5	1	0,5	49,15	98,3
Hari-7	1	0,5	1	0,5	48,15	96,3
Hari-8	1	0,5	1	0,5	59,06	118,12
Rata-rata						110,503

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Tabel 2. Rata-Rata Komposisi Sampah

Komponen Sampah	Persentase (%)
Food Waste	22,11
Garden	3,14
Paper	10,92
Wood and Straw	2,70
Textile	4,86
Disposable Nappies	7,43
Sewage Sludge	0
Industrial Waste	0
Lain-lain	48,84
Total	100,00

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Data timbunan sampah tahunan yang diperoleh dari pengelola TPA menunjukkan tren peningkatan konsisten selama periode 2021–2025. Timbunan sampah yang masuk ke TPA meningkat dari 41.298 ton pada 2021 menjadi 55.501 ton pada 2025, dengan kenaikan tertinggi (15,14%) terjadi pada tahun 2025, sebagaimana disajikan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Timbunan Sampah Masuk TPA/Tahun

Tahun	Sampah yang Masuk TPA (Ton/Tahun)
2021	41.298
2022	45.135
2023	45.419
2024	48.203
2025	55.501

Sumber: Hasil Penelitian (2026)

Perhitungan emisi gas metana menggunakan model IPCC 2006 Guidelines Tier 2 dilakukan dengan memadukan tiga komponen data yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya. Parameter DOC mengikuti data default dari IPCC dan Methane Correction Factor (MCF) yang digunakan dalam perhitungan disajikan pada **Tabel 4**, dengan nilai MCF sebesar 0,7 mengacu pada kondisi operasional TPA yang menggunakan tanah sebagai material penutup timbunan (semi aerobik – managed poorly). Data komposisi sampah per komponen hasil sampling lapangan (Tabel 2) digunakan sebagai data aktivitas, dipadukan dengan data timbunan sampah tahunan (Tabel 3) untuk memperoleh estimasi jumlah sampah terdekomposisi setiap tahunnya.

Tabel 4. Methane Correction Factor

Landfill Site Type	Value
Managed – Anaerobic	1,0
Well-managed – Semi-aerobic	0,5
Poorly managed – Semi-aerobic	0,7
Well-managed – Active Aeration	0,4
Poorly managed – Active Aeration	0,7
Unmanaged – Deep (>5 m) / High Water Table	0,8
Unmanaged – Shallow (<5 m)	0,4
Uncategorized SWDS	0,6

Sumber: IPCC (2006)

Tabel 5. Nilai DOC (Degradable Organic Carbon)

Parameter/Komponen DOC	Nilai DOC
Food Waste	0,15
Garden	0,2
Paper	0,4
Wood	0,43
Textile	0,24
Disposal Nappies	0,24

Sumber: IPCC (2006)

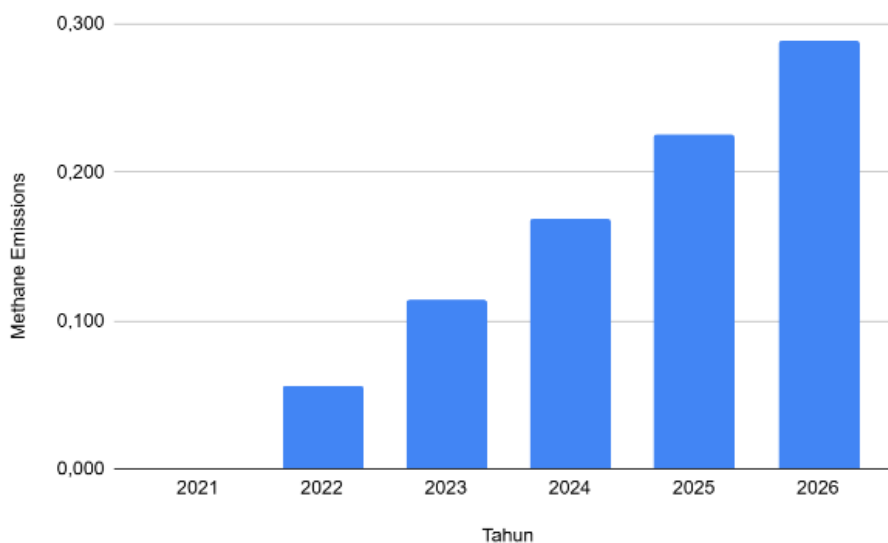
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa emisi CH_4 meningkat secara progresif dari 0,056 Gg/tahun pada 2022 menjadi 0,266 Gg/tahun pada 2025, dan diproyeksikan mencapai 0,299 Gg/tahun pada 2026, sebagaimana ditunjukkan pada tren emisi tahunan pada **Tabel 6** dan **Gambar 2**. Tren peningkatan ini konsisten dengan tren peningkatan timbunan sampah tahunan pada **Tabel 3**, mengonfirmasi bahwa akumulasi sampah organik yang terus bertambah, terutama fraksi food waste dan paper dengan kandungan DOC tinggi, menjadi faktor utama pendorong peningkatan produksi gas metana di TPA.

Tabel 6. Estimasi Produksi Emisi Gas Metana/Tahun

Tahun	Methane Emissions (Gg)
2021	0,000
2022	0,056
2023	0,114
2024	0,169
2025	0,226
2026	0,289

Sumber: Hasil Penelitian (2026)



Gambar 2. Grafik Estimasi Produksi Emisi Gas Metana

Pada **Tabel 1**, pengukuran densitas sampah di TPA dilakukan berdasarkan densitas sampah campuran dengan menggunakan kotak densitas 500 L (100 cm x 50 cm x 100 cm) dan densitas dari masing-masing komposisi. Perhitungan densitas sampah ini dilakukan dengan mengukur volume kotak densitas 500 L yang sebelumnya ditimbang dalam keadaan kosong, kemudian diisi sampel sampah hingga penuh, setelah itu dilakukan penimbangan pada densitas tersebut.

Pemilahan sampah berdasarkan **Tabel 2** menunjukkan bahwa masing-masing komponen didapat food waste sebesar 22,11%, diikuti oleh paper sebesar 10,92%, disposal nappies sebesar 7,43%, textile sebesar 4,86%, garden waste sebesar 3,14%, dan wood & straw sebesar 2,70%, sedangkan kategori sampah campuran lainnya (plastik, logam, karet, kaca) mencapai 48,84%. Komponen *sewage sludge* dan *industrial waste* tidak teridentifikasi pada seluruh sampling.

Berdasarkan **Tabel 3**, timbunan sampah yang masuk ke TPA tahun 2021–2025 menunjukkan tren yang terus meningkat. Pada tahun 2021 jumlah sampah yang masuk tercatat sebesar 41.298 ton/tahun, kemudian meningkat menjadi 45.135 ton/tahun pada tahun 2022 atau mengalami kenaikan sebesar 9,29%. Pada tahun 2023 timbunan sampah kembali meningkat menjadi 45.419 ton/tahun dengan kenaikan sebesar 0,63% dibandingkan tahun sebelumnya. Selanjutnya, pada tahun 2024 jumlah sampah mencapai 48.203 ton/tahun atau meningkat 6,13%, sedangkan pada tahun 2025 meningkat menjadi 55.501 ton/tahun dengan persentase kenaikan tertinggi, yaitu 15,14% dibandingkan tahun 2024.

Berdasarkan **Tabel 6**, estimasi produksi emisi gas metana menunjukkan tren peningkatan setiap tahun selama periode 2021–2026. Pada tahun 2021, emisi metana masih sebesar 0,000 Gg, menunjukkan bahwa pembentukan gas metana belum signifikan. Hal ini disebabkan oleh proses dekomposisi anaerobik sampah organik yang masih berada pada tahap awal, sehingga aktivitas mikroorganisme metanogen belum menghasilkan metana dalam jumlah yang berarti. Pada tahun 2022, emisi metana mulai terbentuk dengan nilai 0,056 Gg, kemudian meningkat menjadi 0,114 Gg pada tahun 2023, 0,169 Gg pada tahun 2024, 0,226 Gg pada tahun 2025, dan mencapai 0,289 Gg pada tahun 2026. Peningkatan yang terjadi relatif konsisten setiap tahun, sebagaimana terlihat pada grafik yang menunjukkan kenaikan hampir linier.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, timbunan sampah yang masuk ke TPA selama periode 2021–2025 menunjukkan tren yang terus meningkat, dari 41.298 ton/tahun pada tahun 2021 menjadi 55.501 ton/tahun pada tahun 2025. Peningkatan timbunan sampah tersebut diikuti oleh peningkatan estimasi produksi emisi gas metana (CH_4) yang dihasilkan dari proses dekomposisi anaerobik sampah di dalam landfill. Emisi metana pada tahun 2021 masih sebesar 0,000 Gg karena proses pembentukan metana belum berlangsung secara signifikan. Seiring bertambahnya akumulasi sampah yang ditimbun dan berkembangnya aktivitas mikroorganisme metanogen, emisi metana meningkat secara bertahap menjadi 0,056 Gg pada tahun 2022, 0,114 Gg pada tahun 2023, 0,169 Gg pada tahun 2024, 0,226 Gg pada tahun 2025, dan mencapai 0,289 Gg pada tahun 2026. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan timbunan sampah berbanding lurus dengan peningkatan produksi emisi gas metana, sehingga tanpa adanya upaya pengurangan dan pengelolaan sampah yang lebih optimal, potensi emisi gas rumah kaca dari TPA akan terus meningkat dari tahun ke tahun.

5. Referensi

- [1] A. Prahastining, D. K. Sari, A. Wibowo. Analisis Pengelolaan Sampah Perkotaan di Indonesia: Tantangan dan Peluang. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 13(1): 45-57. 2023.
- [2] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). KLHK RI, Jakarta. 2025.
- [3] N. Yesiller, J. L. Hanson, and W. L. Liu, "Heat Generation in Municipal Solid Waste Landfills," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 131, no. 11, pp. 1330–1344, 2005, doi: 10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:11(13)
- [4] S. Wahyuni, E. Damanhuri, A. Sofyan. Karakteristik Gas Landfill dari TPA Sampah Perkotaan di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 25(2): 112-121. 2019.
- [5] S. A. Herlintama, "Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca pada Pengelolaan Sampah di TPA Basirih Banjarmasin," Tugas Akhir, Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, Indonesia, 2022.
- [6] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5 – Waste. IGES, Kanagawa, Japan. 2006.
- [7] J. Bogner, M. Pipatti, S. Hashimoto, et al. Mitigation of Global Greenhouse Gas Emissions from Waste: Conclusions and Strategies from the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Waste Management & Research*, 26(1): 11-32. 2019.
- [8] United Nations Environment Programme (UNEP). *Global Methane Assessment: Benefits and Costs of Mitigating Methane Emissions*. Nairobi: UNEP. 2021.
- [9] Scheutz, C., Kjeldsen, P., Bogner, J. E., De Visscher, A., Gebert, J., Hilger, H. A., Huber-Humer, M., & Spokas, K. *Microbial methane oxidation processes and technologies for mitigation of landfill gas emissions*. *Waste Management & Research*, 27(5), 409–455, 2009.
- [10] Standar Nasional Indonesia 3964:2025. Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbunan dan Komposisi Sampah Perkotaan. Badan Standardisasi Nasional. 2025.
- [11] Christensen, T. H. (Ed.). *Solid Waste Technology and Management*. Chichester: John Wiley & Sons. 2011.

-
- [12] Lou, X. F., & Nair, J. *The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions – A review*. *Bioresource Technology*, 100(16): 3792–3798. 2009.
 - [13] N. J. Themelis, P. A. Ulloa. *Methane Generation in Landfills*. *Renewable Energy*, 32(7): 1243-1257. 2007.
 - [14] G. Myhre, D. Shindell, F.-M. Bréon, et al. Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge: 659-740. 2013.
 - [15] United States Environmental Protection Agency (US EPA). *Basic Information about Landfill Gas*. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency. 2023.