

Pemanfaatan Model LandGem Untuk Potensi Gas Metana di TPAS Sekoto Menjadi Sumber Energi

Sekar Nur Habibah Mahiroh¹, R Mohammad Alghaf Dienullah², Abdillah Akmal Karami³,
Sekarsari Wibowo⁴

^{1,2}Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia

³Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Jawa Timur, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia

*Koresponden email: alghaf.ft@upnjatim.ac.id

Diterima: 9 Januari 2025

Disetujui: 16 Januari 2025

Abstract

Landfills generate methane gas (CH₄) as a result of the anaerobic decomposition of organic waste. This gas has the potential to serve as a renewable energy source if managed properly. This study aims to analyze the methane gas emission potential from the Sekoto landfill using the Landfill Gas Emission Model (LandGEM) and convert it into electricity and LPG. Annual waste generation data from 2021 to 2026 was used as input for the LandGEM model to estimate methane gas emissions. The modeling results indicate that peak methane production will occur in 2027, with a total of 4,247,951 m³/year. The potential electrical energy generated from this methane gas reaches 349,421,156.64 kWh per year, equivalent to 39,888.26 MWh. Additionally, the potential conversion of methane gas to LPG is estimated at 1,954,057.46 kg of LPG per year or approximately 5,353 kg per day. Utilizing methane from the Sekoto landfill as an alternative energy source not only contributes to renewable energy supply but also reduces greenhouse gas emissions that impact global warming. With a more efficient gas harvesting system and adequate processing infrastructure, methane gas can be converted into a more beneficial energy source for the community. This study confirms that optimizing landfill gas management can enhance energy sustainability while mitigating the environmental impact caused by methane emissions.

Keywords: methane gas, landfill gas, renewable energy, LandGEM, Sekoto landfill

Abstrak

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) menghasilkan gas metana (CH₄) sebagai hasil dari dekomposisi anaerobik sampah organik. Gas ini memiliki potensi sebagai sumber energi terbarukan jika dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi emisi gas metana dari TPA Sekoto menggunakan model Landfill Gas Emission Model (LandGEM) serta mengonversikannya menjadi energi listrik dan LPG. Data timbulan sampah tahunan dari tahun 2021 hingga 2026 digunakan sebagai input model LandGem untuk memperkirakan jumlah emisi gas metana. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa puncak produksi gas metana terjadi pada tahun 2027 dengan total 4.247.951 m³/tahun. Potensi energi listrik yang dihasilkan dari gas metana ini mencapai 349.421.156,64 kWh per tahun atau setara dengan 39.888,26 MWh. Selain itu, potensi konversi gas metana ke LPG diperkirakan mencapai 1.954.057,46 kg LPG per tahun atau sekitar 5.353 kg per hari. Pemanfaatan metana dari TPA Sekoto sebagai sumber energi alternatif tidak hanya berkontribusi dalam penyediaan energi terbarukan tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca yang berdampak pada pemanasan global. Adanya sistem pemanenan gas yang lebih efisien dan infrastruktur pengolahan yang memadai, gas metana dapat dikonversi menjadi energi yang lebih bermanfaat bagi masyarakat. Studi ini menegaskan bahwa optimalisasi pengelolaan gas TPA dapat meningkatkan keberlanjutan energi sekaligus memitigasi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh emisi metana.

Kata Kunci: gas metana, landfill gas, energi terbarukan, LandGem, TPA Sekoto

1. Pendahuluan

Peningkatan produksi sampah dipengaruhi oleh pertambahan penduduk dan standar hidup aktivitas manusia. Sampah yang tidak dikelola dengan efektif akan menimbulkan berbagai masalah termasuk dalam kerusakan lingkungan. Masalah yang muncul diantaranya yaitu pemanasan global, kerugian ekonomi, dan penyebaran penyakit. Dalam menangani permasalahan ini, Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kediri berupaya untuk melakukan pengelolaan sampah yang berfokus pada dua hal utama yaitu pengurangan dan penanganan sampah [1]. Kegiatan penanganan sampah ini meliputi pewadahan, pengangkutan, dan

pemrosesan akhir. Untuk menunjang kegiatan tersebut, Kabupaten Kediri memiliki satu Tempat Pemrosesan Akhir Sampah yaitu TPA Sekoto.

TPA Sekoto melayani pengangkutan sampah sebanyak 22 Kecamatan yang berada di Kabupaten Kediri, Jawa Timur. TPA ini masih menerapkan Sistem *Controlled Landfill* [2]. Sistem ini membuat Sampah secara sistematis dilapisi dan ditutup dengan tanah atau bahan lain untuk meminimalkan paparan terhadap lingkungan. Cara ini membantu mengendalikan bau, hama, dan sampah, dan juga membantu proses dekomposisi dengan mempertahankan kondisi optimal untuk aktivitas mikroba [3]. Seluruh sampah yang dihasilkan dari aktivitas domestik maupun non domestik di Kabupaten Kediri akan diangkut dan dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sekoto. Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah di Kabupaten Kediri terbanyak yaitu sampah sisa makanan 46.4%, sampah kebun 22.47%, sampah plastik 11.31% dan lainnya [4]. Banyaknya persentase sampah sisa makanan akan mengalami fermentasi anaerobik menjadi gas metana dan karbon dioksida yang dapat menyebabkan peningkatan suhu di sekitar TPA [5]. Gas Metana yang ditimbulkan akan menjadi salah satu penyebab emisi gas rumah kaca atau pemanasan global. Ketika konsentrasi gas metana yang tinggi dapat menurunkan kandungan oksigen dipermukaan bumi dan hanya berkisar 19.5 % oksigen yang mungkin ada di udara [6]. Dengan emisi yang dihasilkan, diperlukan pemilihan teknologi agar gas metana dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi.

Aspek utama dari TPA ini adalah penangkapan dan pemanfaatan gas metana, produk sampingan dari dekomposisi sampah. Dengan mengoptimalkan kondisi seperti kelembapan dan suhu, TPA dengan Sistem *Controlled Landfill* dapat mempercepat pembentukan metana dan meningkatkan pemulihan gas, yang dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan [7]. Energi fosil konvensional dapat digantikan dengan pemanfaatan gas di TPA sebagai sumber energi dan menurunkan emisi yang berkaitan dengan produksi energi dari fosil [8]. Terdapat berbagai metode untuk memperkirakan emisi gas metana dari TPA, yaitu pemodelan eksperimental maupun numerik. Pada penelitian ini digunakan *Landfill Gas Emission Model* (LandGem) yang merupakan model numerik dikembangkan oleh USEPA untuk memperkirakan emisi gas metana di TPA [9]. LandGEM membantu dalam memperkirakan potensi energi dari emisi gas TPA, yang dapat diubah menjadi energi terbarukan. Misalnya, model tersebut memperkirakan potensi produksi energi yang signifikan dari emisi metana di TPA Vijayawada [10]. menyoroti bahwa model LandGEM digunakan untuk memperkirakan produksi gas TPA di masa mendatang berdasarkan prediksi populasi dan volume sampah [11].

Model LandGEM telah berhasil diterapkan untuk memperkirakan potensi energi gas TPA. Misalnya, di Montería, Kolombia, model tersebut memperkirakan bahwa emisi metana dapat menghasilkan sekitar 268,4968 MWh listrik pada tahun 2022, cukup untuk memenuhi kebutuhan energi TPA Loma Grande [12]. Serupa dengan itu, di Maroko, model LandGEM memperkirakan bahwa emisi metana dari TPA Mohammedia-Benslimane dapat menghasilkan 17,8 juta kWh listrik pada tahun 2020, yang menyoroti kegunaan model tersebut dalam konversi energi dari gas TPA. Pemanfaatan metana dari TPA tidak hanya menyediakan sumber energi terbarukan tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca. Penangkapan dan penggunaan metana yang terkendali dapat secara signifikan menurunkan jejak karbon TPA [7]. TPA Villavicencio di Kolombia berpotensi menghasilkan energi listrik dan termal yang signifikan, yang berkontribusi pada kemandirian energi regional [13]. Di Aljazair, konversi metana menjadi listrik dieksplorasi sebagai solusi yang layak untuk memenuhi permintaan energi yang terus meningkat, dengan puncak produksi metana diperkirakan akan terjadi dalam beberapa dekade mendatang [14]. Berdasarkan uraian di atas maka fokus penelitian ini adalah menganalisis jumlah emisi *landfill* gas (CH₄) di TPA Sekoto dengan menggunakan model LandGem dan mengkonversikan menjadi energi listrik.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Tempat Pemrosesan Akhir Sampah (TPAS) Sekoto, Kabupaten Kediri, Provinsi Jawa Timur dengan titik koordinat -7.72998, 112.17951. TPAS Sekoto memiliki luas lahan sebesar 3.5 Ha yang terbagi menjadi zona pasif dan zona aktif. Zona pasif beroperasi pada tahun 1985 hingga 2021 dengan *sistem open dumping*. Sedangkan zona aktif sebagai titik penelitian ini dioperasikan mulai tahun 2021 hingga 2026 dengan sistem *controlled landfill*. Sistem *controlled landfill* yaitu penimbunan sampah menggunakan tanah di lokasi yang cekung [8].



Gambar 1. Lokasi TPAS Sekoto
Sumber: Google Earth, 2024



Gambar 2. Kondisi Zona Aktif TPAS Sekoto
Sumber: Peneliti, 2024

2.2 Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dengan observasi langsung di TPAS Sekoto berupa kondisi eksisting, data timbulan sampah harian, dan komposisi sampah. Sedangkan untuk data sekunder diperoleh dari dokumen penyusunan *Detail Engineering Design* (DED) TPAS Sekoto oleh Dinas Lingkungan Hidup kabupaten Kediri. Dokumen ini mencakup jumlah timbulan sampah tahunan, rencana operasi TPA hingga penutupan, dan rata-rata komposisi sampah tahunan. Selain itu diperlukan data curah hujan, kebutuhan listrik rata-rata rumah tangga, dan data penduduk Kabupaten Kediri yang didapatkan dari Badan Pusat Statistik (BPS).

2.3 Analisis Proyeksi Penduduk Kabupaten Kediri

Jumlah kecamatan di Kabupaten Kediri sebanyak 26 kecamatan, namun tidak semua kecamatan terlayani oleh TPAS Sekoto. Kecamatan yang tidak masuk pelayanan disebabkan karena keterbatasan sumber daya, sehingga pelayanan hanya dilakukan di 21 kecamatan. Kecamatan terlayani diantaranya yaitu kecamatan Ngadiluwih, Kras, Wates, Gampangrejo, Ngasem, Gurah, Kandangan, Pare, Badas, Plemahan, Purwosari, Papar, Plosoklaten, Puncu, Kandangan, Pagu, dan Kayenkidul. Proyeksi penduduk hanya dihitung dari 21 kecamatan terlayani mulai tahun 2021 sebagai tahun awal hingga 2026 sebagai tahun akhir beroperasinya zona aktif di TPAS Sekoto. Perhitungan proyeksi menggunakan tiga metode, yaitu metode aritmatika, geometri, dan least square. Ketiga metode ini akan dipilih nilai koefisien korelasi (r) yang mendekati atau sama dengan angka 1.

2.4 Analisis Timbulan dan Komposisi Sampah TPAS Sekoto

Data timbulan dan komposisi sampah didapatkan dengan wawancara langsung dengan pegawai pencatat timbulan sampah di TPA. Data timbulan sampah yang masuk di TPA sebelum dilakukannya penimbunan akan dicatat berdasarkan data jembatan timbang (*weight volume analysis*) yang diangkut oleh

truk. Wawancara ini dilakukan selama 8 hari dengan rincian 4 hari di minggu pertama dan 4 hari di minggu kedua. Data timbulan sampah yang dibutuhkan yaitu tahun 2021 sebagai tahun awal hingga 2026 sebagai tahun akhir pengoperasian zona aktif TPAS Sekoto. Data ini diperlukan untuk running model LandGem dalam menentukan estimasi emisi gas metan. Pengambilan data komposisi sampah digunakan sebagai data pembandingan untuk mengetahui kategori sampah yang dihasilkan per harinya.



Gambar 3. Jembatan Penimbangan Sampah TPAS Sekoto
 Sumber: Peneliti, 2024

2.5 Analisis Proyeksi Timbulan Sampah TPAS Sekoto

Perhitungan proyeksi timbulan sampah dimulai tahun 2021 hingga 2026. Perhitungan ini berpacu pada standarisasi besaran timbulan berdasarkan klasifikasi kota sesuai dengan SNI 19-3983-1995 [9]. Kabupaten Kediri termasuk dalam range timbulan sampah kota kecil dengan laju timbulan sampah yang digunakan yaitu 0,4 kg/orang/hari.

Tabel 1. Besar Timbulan Sampah Berdasarkan Klasifikasi Kota

Klasifikasi Kota	Volume	Berat
	Liter/orang/hari	Kg/orang/hari
Kota Sedang	2,75 – 3,25	0,70 – 0,80
Kota Kecil	2,5 – 2,75	0,625 – 0,70

Sumber : SNI 19-3983-1995

2.6 Analisis Potensi Emisi Gas Metana Menggunakan Model LandGem

Dalam memperkirakan emisi metana dari lokasi TPA di Amerika Serikat, USEPA mengembangkan model numerik yaitu *Landfill Gas Emission Model* (LandGem) [7]. Model ini dapat digunakan secara global untuk menilai emisi gas metana dari berbagai TPA yang disesuaikan dengan kondisi lokasi. Panduan model LandGem dapat diakses melalui laman EPA. Data yang dibutuhkan untuk *running* model LandGem adalah sebagai berikut [10]:

1. Tahun buka dan tahun akhir pengoperasian TPA. Pada penyusunan DED TPAS Sekoto, tahun operasi zona aktif yaitu 2021 hingga 2026.
2. Determine parameter model terdiri dari *Methane Generation Rate* (k/tahun), *Potential Methane Generation Capacity* (Lo), *NMOC Concentration* (ppmv as hexane), dan *Methane Content* (% by volume).
3. Memilih gas polutan yang dihasilkan. Gas polutan yang dipilih yaitu *Total Landfill Gas*, gas metan, dan karbon dioksida. Gas polutan ini digunakan untuk menghitung potensi daya listrik sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif.
4. Timbulan sampah dari tahun buka hingga akhir pengoperasian TPA.

2.7 Perhitungan Emisi Gas Metana Sebagai Sumber Energi

Nilai maksimum yang dihasilkan dari pemodelan LandGem digunakan sebagai nilai potensinya. Jumlah gas metana hasil pemodelan LandGem dikalikan dengan nilai kesetaraan atau konversi gas metana

menjadi energi listrik. Hal ini dikarenakan kandungan kalor yang terdapat pada gas metan sehingga dapat menghasilkan energi listrik [11]. Sehingga perhitungan energi listrik yang dihasilkan dari gas metana dapat dihitung berdasarkan rumus berikut [12]:

$$P_g = Q_{CH_4} (m^3/tahun) \times H_o (kWh/m^3) \dots\dots\dots(1)$$

P_g = Daya yang dihasilkan

Q_{CH_4} = Gas CH_4 ($m^3/tahun$)

H_o = Faktor konversi volume gas CH_4 (m^3) ke satuan energi listrik (kWh) yaitu 1,117 kWh

Prediksi potensi *landfill gas* yang dihasilkan pada tahun maksimum oleh model LandGem v 3.02 juga dapat dikonversikan menjadi bahan bakar atau LPG. Potensi *landfill gas* dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut [12]:

$$\text{Potensi landfill gas} = \text{Kesetaraan landfill gas} \times \text{Total gas tahun maksimum} \dots\dots\dots(2)$$

Kesetaraan landfill gas = 0,46 kg elpiji [13].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Proyeksi Penduduk Kabupaten Kediri

Perhitungan proyeksi penduduk Kabupaten Kediri didasarkan pada jumlah penduduk terlayani TPA Sekoto. Kecamatan terlayani oleh TPA Sekoto berjumlah 22 kecamatan dari 26 kecamatan di Kabupaten Kediri sesuai dengan data yang tertera pada **Tabel 2**. Tidak semua kecamatan di Kabupaten Kediri terlayani oleh TPA Sekoto. Hal ini dikarenakan kondisi geografis wilayah Kabupaten Kediri yang luas sehingga akan berpengaruh terhadap operasional rute pengangkutan sehingga menyebabkan kelebihan jarak normal dan waktu. Jika menambah jumlah pelayanan akan berpengaruh terhadap penambahan tenaga kerja, anggaran BBM untuk armada pengangkutan, dan sarpras (sarana-prasarana). Pertimbangan lainnya juga mengacu pada kapasitas TPA, saat ini yang dilakukan Pemerintah Kabupaten Kediri oleh Dinas Lingkungan Hidup yaitu dengan mengambil residu dari TPS3R yang ada. Saat ini Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kediri berkomitmen untuk mengambil residu dari TPS3R dan pelayanan dilakukan sesuai dengan prioritas.

Tabel 2. Data Kecamatan Terlayani TPAS Sekoto

Kecamatan	Tahun		
	2021	2022	2023
Ngadiluwih	80450	82039	82995
Kras	63060	64043	65040
Wates	91240	92034	92834
Gampangrejo	35790	36416	36959
Ngasem	67280	68548	69839
Gurah	82880	83444	84012
Kandangan	52010	56207	57371
Pare	106450	107527	108614
Badas	1594	69397	70561
Plemahan	60960	61208	61457
Purwoasri	59260	60139	61031
Papar	52630	52773	52915
Plosoklaten	79417	80381	81356
Puncu	67627	68371	69125
Kandangan	60863	62027	63191
Pagu	42414	42826	43243
Kayenkidul	48509	48736	48964
Banyakan	61054	62134	63153
Grogol	48414	49023	51251
Ngancar	51413	52632	53154
Ringinrejo	58752	59216	61415
Semen	27807	28426	29653
Total	1239011	1325520	1344942

Sumber: BPS Kabupaten Kediri, 2024

Proyeksi penduduk yang dibutuhkan yaitu proyeksi untuk 3 (tiga) tahun kedepan. Hal ini mengacu pada masa pengoperasian zona aktif TPAS Sekoto. Tahun awal operasi zona aktif TPAS Sekoto yaitu 2021 dan berakhir pada tahun 2026. Perhitungan proyeksi dilakukan dengan 3 (tiga) metode, yaitu metode aritmatika, geometri, dan least square untuk mendapatkan nilai koefisien korelasi yang mendekati 1. Perhitungan nilai koefisien korelasi (r) yang mendekati 1 didapatkan pada metode least square sesuai dengan **Tabel 3**. Sehingga perhitungan proyeksi penduduk yang digunakan yaitu metode least square dengan laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,8 %.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Koefisien Korelasi (r)

Metode	Nilai Korelasi (r)
Aritmatika	0,213944296
Geometri	0,931477717
Least Square	0,939187

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Tabel 4. Proyeksi Penduduk Terlayani

Tahun	Jumlah Penduduk
2021	1239011
2022	1325520
2023	1344942
2024	1356123
2025	1409089
2026	1462054

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.2 Analisis Timbulan dan Komposisi Sampah di TPAS Sekoto

Pengambilan data timbulan sampah harian berdasarkan data jembatan timbang (weight volume analysis). Data berat bersih sampah yang diangkut oleh truk dari pengambilan di TPS atau TPS3R akan langsung didapat pada data jembatan timbang. Pengoperasian penimbangan data berat bersih sampah di TPAS Sekoto mulai pukul 07.00 hingga 16.00 WIB. Terlihat pada **Tabel 5** bahwa data timbulan sampah yang masuk ke TPAS Sekoto mengalami peningkatan setiap tahunnya.

Tabel 5. Data Timbulan Sampah TPAS Sekoto

Tahun	Timbulan Sampah (ton/tahun)
2021	180.895,61
2022	193.525,92
2023	196.361,53

Sumber: TPAS Sekoto, 2024

Data komposisi sampah di TPAS Sekoto didapatkan sebanyak 7 jenis sampah yaitu, sampah sisa makanan, sampah kebun, plastik, kaca, kain, karet/kulit, dan logam. Pengambilan data komposisi sampah dilakukan selama 8 hari melalui metode wawancara. Pengambilan data ini disesuaikan dengan hari efektif banyaknya timbulan sampah yang masuk yaitu hari Senin sampai dengan Kamis di minggu pertama dan minggu kedua. Sesuai dengan data pada **Tabel 6** bahwa sampah organik terbanyak di TPAS Sekoto yaitu sampah sisa makanan dan sampah kebun. Kemudian sampah anorganik terbanyak yaitu sampah plastik. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa komposisi sampah organik seperti sisa makanan dan sampah kebun menjadi penyumbang terbesar di TPAS Sekoto.

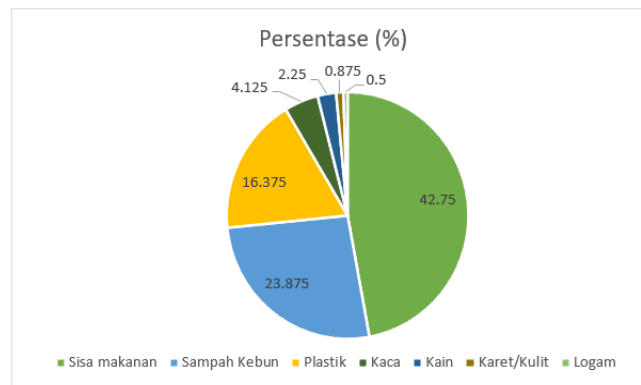
Tabel 6. Komposisi Sampah TPAS Sekoto Selama 8 Hari

Tanggal	Komposisi Sampah (%)						
	Sisa makanan	Sampah Kebun	Plastik	Kaca	Kain	Karet/Kulit	Logam
14 Okt 2024	42	23	15	4	2	0	0
15 Okt 2024	40	25	14	3	3	2	0
16 Okt 2024	45	26	13	4	0	0	2
17 Okt 2024	45	21	17	5	4	3	0
21 Okt 2024	40	24	19	3	2	0	1

Tanggal	Komposisi Sampah (%)						
	Sisa makanan	Sampah Kebun	Plastik	Kaca	Kain	Karet/Kulit	Logam
22 Okt 2024	46	27	18	5	2	1	0
23 Okt 2024	44	22	17	6	3	0	0
24 Okt 2024	40	23	18	3	2	1	1
Jumlah	342	191	131	33	18	7	4
Rata-rata	42.75	23.875	16.375	4.125	2.25	0.875	0.5

Sumber: TPAS Sekoto, 2024

Pada diagram **Gambar 3** komposisi sampah di TPAS Sekoto didominasi oleh sampah sisa makanan sebanyak 42,75%; sampah kebun 23,88%; dan sampah plastik 16,38%. Banyaknya sampah sisa makanan disebabkan karena bertambahnya jumlah penduduk dan perilaku rumah tangga terhadap belanja makanan oleh masyarakat Kabupaten Kediri [14]. Hal ini dipengaruhi oleh konsumsi manusia terhadap pangan yang terbuang dan tidak semestinya. Pembusukan sampah organik akan menghasilkan senyawa-senyawa kimia seperti asam organik dan gas metana [15]. Gas metana ini dapat mempengaruhi pemanasan global dan perubahan iklim. Pembusukan sampah organik akan menghasilkan bau tidak sedap dan menyengat. Potensi pemanasan global 21 kali lipat disebabkan oleh gas metana dibanding dengan gas karbon dioksida sehingga dapat menaikkan temperatur di permukaan bumi [12].



Gambar 4. Persentase Komposisi Sampah 8 Hari TPAS Sekoto
Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.3 Analisis Proyeksi Timbulan Sampah TPAS Sekoto

Perhitungan proyeksi timbulan sampah dimulai tahun 2021 hingga 2026 yang disesuaikan dengan tahun pengoperasian zona aktif TPAS Sekoto. Perhitungan ini mengacu pada standarisasi besaran timbulan sampah berdasarkan klasifikasi kota sesuai dengan SNI 19-3983-1995. Kabupaten Kediri termasuk dalam range timbulan sampah kota kecil dengan laju timbulan sampah yang digunakan yaitu 0,4 kg/orang/hari. Perhitungan proyeksi timbulan sampah berbanding lurus dengan proyeksi penduduk.

Tabel 7. Proyeksi Timbulan Sampah TPAS Sekoto

Tahun	Jumlah Penduduk	Proyeksi Timbulan Sampah (kg/hari)	Proyeksi Timbulan Sampah (ton/hari)	Proyeksi Timbulan Sampah (kg/tahun)	Proyeksi Timbulan Sampah (ton/tahun)
2021	1.239.011	495.604,4	495.60	180.895.606	180.895,61
2022	1.325.520	530.208	530.21	193.525.920	193.525,92
2023	1.344.942	537.976,8	537.98	196.361.532	196.361,53
2024	1.356.123	542.449,27	542.45	197.993.982,3	197.993,98
2025	1.409.089	563.635,47	563.64	205.726.945,3	205.726,95
2026	1.462.054	584.821,67	584.82	213.459.908,3	213.459,91

Sumber: Hasil Analisis, 2024

3.4 Analisis Potensi Emisi Gas Metana Menggunakan Model LandGem

Data yang diperlukan untuk running model LandGem yaitu timbulan sampah tiap tahun sesuai dengan masa beroperasinya zona aktif TPAS Sekoto. Penelitian ini menggunakan data timbulan sampah tahun 2021 hingga 2026 dari hasil perhitungan proyeksi. Data timbulan sampah yang dimasukkan pada model LandGem sesuai dengan **Tabel 8**.

Tabel 8. Data Timbulan Sampah input LandGem

Tahun	Timbulan Sampah (ton/tahun)
2021	180.895,61
2022	193.525,92
2023	196.361,53
2024	197.993,98
2025	205.726,95
2026	213.459,91

Sumber: Hasil Analisis, 2024

Langkah pertama dalam running model LandGem yaitu memasukkan tahun awal beroperasinya TPA hingga akhir. Untuk zona aktif TPAS Sekoto tahun beroperasinya yaitu dimulai tahun 2021 hingga 2026. Kemudian langkah kedua yaitu mengisi determine parameter model. Determine parameter model pada LandGem adalah sebagai berikut [10]:

1. *Methane Generation Rate* (k/tahun)

Parameter ini di isi berdasarkan kategori iklim daerah penelitian. Kabupaten Kediri memiliki kondisi temperatur 21°C – 31°C dengan curah hujan rata-rata sekitar 1652 mm/hari. TPAS Sekoto tidak direncanakan menggunakan sirkulasi lindi, maka TPAS Sekoto termasuk kategori umuk sehingga nilai k yang digunakan yaitu 0,04 per tahun dengan tipe *Inventory Conventional*.

2. *Potential Methane Generation Capacity* (Lo)

Parameter ini bergantung pada jenis atau komposisi sampah yang ditempatkan di TPA. TPAS Sekoto dikategorikan sebagai daerah umum sehingga menggunakan nilai Lo sebesar 100 m³/Mg dengan tipe *Inventory Conventional*.

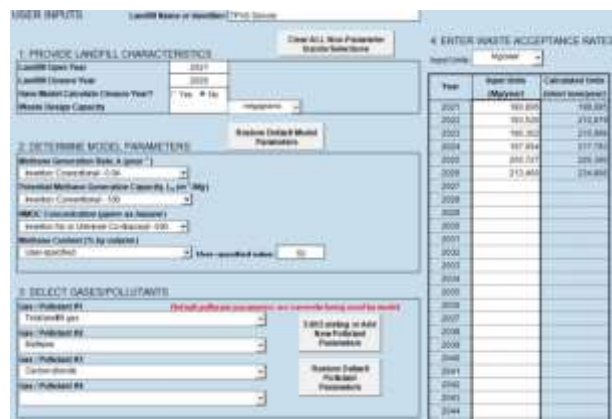
3. *NMOC Concentration* (ppmv as hexane)

Parameter ini merupakan fungsi dari jenis sampah di TPA dan tingkat reaksi yang menghasilkan berbagai senyawa dari dekomposisi sampah. TPAS Sekoto menggunakan konsentrasi NMOC tipe *Inventory No or Unknown Co disposal* atau TPA tidak ada pembuangan Limbah Berbahaya dan Beracun (Limbah B3) yang bernilai 600.

4. *Methane Content* (% by volume)

Diasumsikan TPAS Sekoto memiliki kadar gas metana yang umum digunakan yaitu sebesar 50%.

Langkah ketiga input data model LandGem yaitu memiliki gas polutan yang dihasilkan. Gas polutan yang dipilih yaitu total gas *landfill*, gas metan, dan karbon dioksida. Gas polutan ini digunakan untuk menghitung potensi daya listrik TPAS Sekoto.



Gambar 5. Input Data LandGem

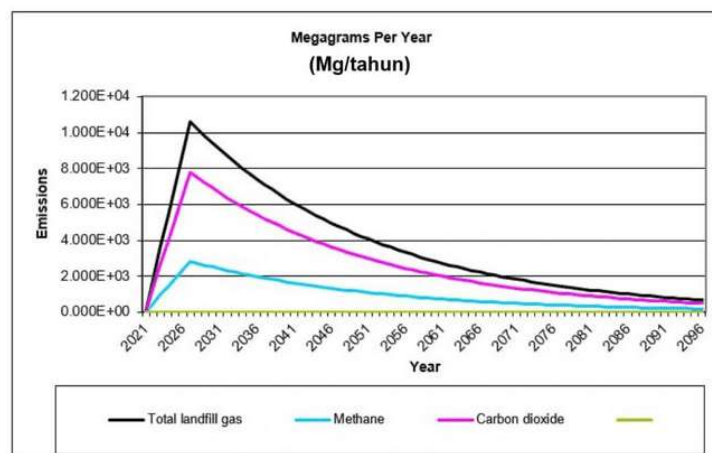
Sumber: Hasil Analisis, 2024

Total *landfill gas* menunjukkan titik puncak timbulan satu tahun setelah akhir beroperasinya TPA [12]. Hal ini sesuai dengan hasil LandGem oleh TPAS Sekoto untuk masa operasional zona aktif tahun 2021 hingga 2026 menunjukkan titik puncak timbulan gas terjadi pada tahun 2027. Total gas *landfill* yang terjadi pada tahun 2027 sebesar 8.495.317 m³/tahun, timbulan gas metana 4.247.951 m³/tahun, dan karbon dioksida 4.247.951 m³/tahun. Rincian lengkap nilai timbulan gas pertahunnya ditampilkan pada **Tabel 9** dan grafik laju timbulan gasnya ditunjukkan pada **Gambar 6** di bawah ini.

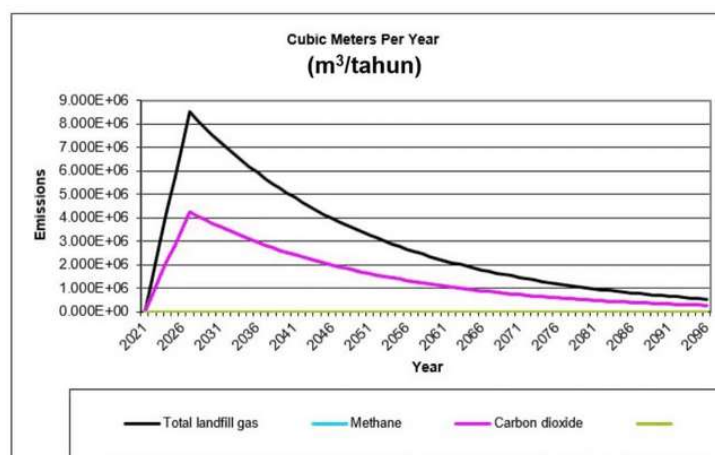
Tabel 9. Hasil LandGem

Year	Total Landfill Gas		Methane		Carbon dioxide	
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
2021	0	0	0	0	0	0
2022	1.775	1.421.321	474,2	710.767	1.301	710.767
2023	3.605	2.886.211	962,8	1.443.563	2.642	1.443.563
2024	5.390	4.316.532	1.440	2.158.441	3.950	2.158.441
2025	7.122	5.703.126	1.902	2.851.532	5.219	2.851.532
2026	8.861	7.096.146	2.367	3.548.875	6.494	3.548.875
2027	10.614	8.495.317	2.834	4.247.951	7.775	4.247.951
2028	10.195	8.162.246	2.723	4.081.542	7.470	4.081.542
2029	9.793	7.842.125	2.616	3.921.431	7.177	3.921.431
2030	9.409	7.534.413	2.513	3.767.246	6.896	3.767.246
2031	9.040	7.239.246	2.415	3.619.671	6.625	3.619.671

Sumber: LandGem v 3.02



Gambar 5. Grafik Timbulan Gas di TPAS Sekoto Satuan Megagram/tahun
Sumber: LandGem v3.02



Gambar 6. Grafik Timbulan Gas di TPAS Sekoto Satuan m³/tahun
Sumber: LandGem v3.02

3.5 Perhitungan Emisi Gas Metana sebagai Sumber Energi

Jumlah kandungan gas metana yang tinggi perlu dilakukan pengolahan atau pemanfaatan. Apabila gas ini terkumpul dalam kandungan yang tinggi akan berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan sekitar. Nilai maksimum timbunan gas metana yang dihasilkan oleh TPA Sekoto yaitu pada tahun 2027 dan dijadikan sebagai nilai potensinya. Jumlah gas metana hasil LandGem dikalikan dengan nilai kesetaraan atau konversi gas metana menjadi energi per satuan volumenya, sehingga didapatkan potensi energi alternatif yang dihasilkan.

Nilai kesetaraan 1 m³ gas metana dengan energi listrik sebesar 9,39 kWh . Hasil perhitungan konversi menjadi daya listrik oleh total gas *landfill* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_g &= Q_{CH_4} \text{ (m}^3\text{/jam)} \times H_o \text{ (kWh/m}^3\text{)} \\ P_g &= 4.247.951 \text{ m}^3\text{/tahun} \times 8.760 \text{ (jam/tahun)} \times 9,39 \text{ kWh/m}^3 \\ P_g &= 349.421.156,64 \text{ kWh} \\ P_g &= 39.888.259,89 \text{ MWh} \end{aligned}$$

Diperkirakan energi 1 m³ landfill gas yang mengandung 50% metana atau 1 m³ biogas setara dengan 0,46 kg LPG [24]. Hasil perhitungan potensi landfill gas dari emisi metana adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Potensi landfill gas} &= 0,46 \text{ kg elpiji/m}^3 \times \text{Total gas tahun maksimum} \\ &= 0,46 \text{ kg elpiji/m}^3 \times 4.247.951 \text{ m}^3\text{/tahun} \\ &= 1.954.057,46 \text{ kg elpiji/tahun} \\ &= 5353 \text{ kg elpiji/hari} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas, sumber energi Listrik yang dihasilkan oleh TPA Sekoto dari gas metana sebesar 4.247.951 m³/tahun (gas maksimum) atau jika dimanfaatkan sebagai untuk biogas mendapatkan hasil perhitungan sebesar 5353 kg LPG/Tahun. Estimasi emisi metana dari TPA sebagai sumber energi potensial sangat penting untuk memahami dampak lingkungan dari praktik pengelolaan limbah dan untuk mengembangkan solusi energi terbarukan. Metana (CH₄), gas rumah kaca yang kuat, dihasilkan selama dekomposisi anaerobik limbah organik di TPA. Model LandGEM sering digunakan untuk memperkirakan emisi metana, memberikan wawasan berharga tentang potensi energi yang dapat dimanfaatkan dari gas TPA [25]. Model LandGEM memperkirakan bahwa emisi metana dapat bervariasi secara signifikan berdasarkan komposisi limbah dan praktik operasional TPA. Misalnya, TPA Talang Gulo di Jambi, Indonesia, menunjukkan puncak emisi metana sebesar 8.530 Mg/tahun pada tahun 2023, yang menekankan kemampuan model untuk memproyeksikan emisi masa depan berdasarkan data historis [26].

Demikian pula, penelitian yang dilakukan di TPA Mirash menunjukkan bahwa konsentrasi sampah organik yang lebih tinggi berkorelasi dengan peningkatan produksi metana, yang menggarisbawahi pentingnya komposisi sampah dalam estimasi emisi [25]. Hubungan ini sangat penting bagi operator TPA yang ingin mengoptimalkan sistem pemulihan metana. Dalam hal potensi energi, metana yang dihasilkan dari TPA dapat diubah menjadi listrik dan panas, yang menyediakan sumber energi terbarukan. Misalnya, sebuah studi tentang TPA Kossihouen di Pantai Gading menyoroti potensi pembangkitan listrik dari metana yang ditangkap, yang menunjukkan bahwa pengelolaan gas TPA yang efektif dapat berkontribusi secara signifikan terhadap produksi energi [27]. Selain itu, konversi metana menjadi energi dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, karena dapat mengimbangi kebutuhan bahan bakar fosil [28].

Pemulihan energi dari metana dapat menjadi substansial; misalnya, telah diperkirakan bahwa jika 25% metana yang dihasilkan dari sampah kota (MSW) ditangkap, maka dapat menghasilkan sekitar 62,35 MWh daya listrik [29]. Efisiensi sistem pemulihan metana juga merupakan faktor penting dalam memaksimalkan keluaran energi. Studi telah menunjukkan bahwa efisiensi pemulihan dapat sangat bervariasi, dengan beberapa tempat pembuangan sampah mencapai tingkat penangkapan yang kurang optimal karena desain sistem dan tantangan operasional [30]. Oleh karena itu, pemantauan dan pengoptimalan berkelanjutan sistem pengumpulan gas sangat penting untuk meningkatkan potensi pemulihan energi dari tempat pembuangan sampah. Lebih jauh, prediksi model LandGEM didukung oleh data empiris, yang dapat membantu memvalidasi keakuratan model. Misalnya, pengukuran lapangan telah digunakan untuk membandingkan dengan estimasi model, yang mengungkap pentingnya parameter khusus lokasi dalam meningkatkan prediksi produksi metana [31]. Proses validasi ini sangat penting untuk memastikan bahwa estimasi yang diberikan oleh model seperti LandGEM dapat diandalkan dan dapat digunakan secara efektif untuk tujuan perencanaan dan operasional.

4. Kesimpulan

Metode Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) merupakan alat yang efektif dalam memprediksi potensi gas metana yang dihasilkan dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sekoto. Model ini mampu

memberikan estimasi kuantitatif terhadap produksi gas metana berdasarkan data timbunan sampah dan parameter biologis yang berkontribusi terhadap proses degradasi organik di dalam landfill. Hasil analisis menunjukkan bahwa TPA Sekoto memiliki potensi gas metana sebesar 1.954.057,46 kg elpiji/tahun atau 5353 kg LPG/Tahun, yang jika dimanfaatkan dengan optimal dapat menjadi sumber energi alternatif yang berkelanjutan. Pemanfaatan gas metana sebagai energi tidak hanya membantu dalam penyediaan energi hijau, tetapi juga berkontribusi dalam pengurangan emisi gas rumah kaca yang berpotensi merusak lingkungan. Sebagai rekomendasi, diperlukan strategi pengelolaan yang lebih baik, seperti sistem pemanenan gas yang lebih efisien, infrastruktur pengolahan gas yang memadai, serta regulasi yang mendukung pemanfaatan energi terbarukan dari landfill. Dengan demikian, TPA Sekoto dapat berperan lebih besar dalam mendukung transisi energi bersih dan berkelanjutan.

5. Saran

Perlu dilakukan pengambilan dan pengukuran gas metana langsung di TPA untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dalam perhitungan potensinya. Selain itu diperlukan kajian lebih lanjut mengenai biaya pengumpulan dan pengolahan gas agar dapat mengetahui analisis kelayakan untuk membuat PLTSA di TPAS Sekoto.

6. Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Bina Teknik Balai Keamanan Bendungan, “Pedoman Bendungan Limbah Tambang,” 2004.
- [2] A. Winardi, N. E. Mochtar, and P. T. K. Sari, “Perencanaan Sanitary Landfill dan Lapisan Dasar Landfill pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sekoto-Kabupaten Kediri,” *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 1, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i1.82062.
- [3] U. Congge, S. Bahri, and N. Nurhidayat, “Efektivitas Sistem Controlled Landfill dalam Penanganan Sampah di Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kabupaten Sinjai,” *TheJournalish Soc. Gov.*, vol. 4, no. 2, pp. 190–194, 2023, doi: 10.55314/tsg.v4i2.476.
- [4] KLHK RI (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia), “Komposisi Sampah,” *SIPSN (Sistem Inf. Pengelolaan Sampah Nasional)*, pp. 1–21, 2022, [Online]. Available: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>
- [5] D. P. Widyatama, “Prediksi Gas Metana, Karbon Dioksida Dan Hidrogen Sulfida Dalam Proses Biogas Dari Sampah Organik Di Tpa Talangagung Kabupaten Malang,” 2021.
- [6] 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.
- [7] A. I. Oukili, M. Mouloudi, and M. Chhiba, “LandGEM Biogas Estimation, Energy Potential and Carbon Footprint Assessments of a Controlled Landfill Site. Case of the Controlled Landfill of Mohammedia-Benslimane, Morocco,” *J. Ecol. Eng.*, vol. 23, no. 3, pp. 116–129, 2022, doi: 10.12911/22998993/145410.
- [8] N. Nurhadi, J. Windarta, D. Ginting, E. W. Sinuraya, and G. M. Pasaribu, “Evaluasi Pemanfaatan Gas TPA Menjadi Listrik, Studi Kasus TPA Jatibarang Kota Semarang,” *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 1, pp. 20–27, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.8134.
- [9] S. Chandra, R. Ganguly, and D. Parmar, “Assessment of gas generation and energy recovery from municipal solid waste in Kanpur city, India,” *Environ. Monit. Assess.*, vol. 195, no. 9, 2023, doi: 10.1007/s10661-023-11727-3.
- [10] C. Ramprasad, A. Anandhu, and A. Abarna, “Quantification of Methane Emissions Rate Using Landgem Model and Estimating the Hydrogen Production Potential from Municipal Solid Waste Landfill Site,” *Nat. Environ. Pollut. Technol.*, vol. 22, no. 4, pp. 1845–1856, 2023, doi: 10.46488/NEPT.2023.v22i04.012.
- [11] S. Özata and G. D. Değermenci, “Estimation of landfill gas emissions at the solid waste disposal site of low-population regions with LandGEM and tabasaran–rettenberger mathematical models,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 46, no. 1, pp. 6606–6619, Dec. 2024, doi: 10.1080/15567036.2024.2350608.
- [12] S. J. Sofan German, J. D. Arrieta Torres, A. Ruíz Garcés, and M. E. Doria Oviedo, “Evaluación energética de la formación de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos del relleno sanitario mediante el modelo LandGEM,” *Investig. e Innovación en Ing.*, vol. 11, no. 2, pp. 16–27, 2023, doi: 10.17081/invinno.11.2.6373.

- [13] L. F. Ramírez Ríos, D. Becerra Moreno, and J. Y. Ortega Contreras, "Potential use of methane gas from the Villavicencio sanitary landfill, Colombia," *Ing. y Compet.*, vol. 26, no. 2, 2024, doi: 10.25100/iyv.v26i2.14019.
- [14] A. I. Safia, T. Meriem, A. Fatiha, and A. Ahmed, "Assessment of methane emissions from landfills in five major cities of Algeria: comparative analysis of calculation models and study on methane-to-electricity conversion," *Stud. Eng. Exact Sci.*, vol. 5, no. 2, p. e5407, 2024, doi: 10.54021/seesv5n2-007.
- [15] V. A. Kusuma, B. Hasanah, and S. Slamet, "Forecasting Potensi Energi Gas Metana menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) pada TPA Manggar kota Balikpapan," *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 5, no. 2, pp. 16–22, 2020, doi: 10.32486/jeecae.v5i2.533.
- [16] M. Bonamente, "The Linear Correlation Coefficient BT - Statistics and Analysis of Scientific Data," M. Bonamente, Ed., Singapore: Springer Nature Singapore, 2022, pp. 263–276. doi: 10.1007/978-981-19-0365-6_14.
- [17] Badan Standarisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia Spesifikasi timbulan sampah untuk kota kecil dan kota sedang di Indonesia," *Badan Standarisasi Nas.*, pp. 1–4, 1995.
- [18] A. Alexander, C. Burklin, and A. Singleton, "Panduan Pengguna Model (LandGEM) Versi 3.02," pp. 1–9, 2012.
- [19] S. Dhea Amanda zahwa, "Mekanisme Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)," *Pengemb. Pendidik.*, vol. 8, no. 1, pp. 120–130, 2024, [Online]. Available: <https://jurnalhost.com/index.php/jpp/article/view/570/722>
- [20] R. S. S. Sudewi, A. Sasmito, and R. Kurniawan, "Identifikasi Ambang Batas Curah Hujan Saat Kejadian Banjir Di Jabodetabek: Studi Kasus Banjir Jakarta Tanggal 09 Februari 2015," *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 16, no. 3, pp. 209–215, 2015, doi: 10.31172/jmg.v16i3.315.
- [21] F. Zulfikariyah, E. Handayanto, and M. Jihadi, "Peningkatan pengetahuan dan kesadaran masyarakat dalam pengelolaan sampah untuk mewujudkan lingkungan sehat dan produktif 1," vol. 08, no. 02, pp. 139–148, 2024.
- [22] S. F. Jayadi, L. Destiarti, and B. Sitorus, "Pembuatan Reaktor Fotokatalis dan Aplikasinya untuk Degradasi Bahan Organik Air Gambut menggunakan Katalis TiO₂," *Jur. Fis. UIN SGD Bandung*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2017, [Online]. Available: <https://www.mysciencework.com/publication/show/e5ddc2e689813683fc664487b710bc73%0Ahttp://journal.ipb.ac.id/index.php/jpsl/article/view/13431>
- [23] T. Abdullah, N. R. Hidayat, and H. Sholehah, "Jurnal Presipitasi Potensi Kandungan Gas Metana sebagai Sumber Energi," *presipitasi*, vol. 17, no. 3, pp. 334–343, 2020.
- [24] F. Sinaga, D. M. Napitupulu, and H. Syarifuddin, "Estimasi Produksi Gas Metana Untuk Pemanfaatan Sebagai Sumber Energi Di TPA Talang Gulo, Jambi," *J. Daur Lingkung.*, vol. 6, no. 1, p. 12, 2023, doi: 10.33087/daurling.v6i1.184.
- [25] B. Dimishkovska, A. Berisha, and K. Lisichkov, "Estimation of methane emissions from Mirash municipal solid waste sanitary landfill, differences between IPPC 2006 and LandGEM method," *J. Ecol. Eng.*, vol. 20, no. 5, 2019.
- [26] H. Syarifuddin, Y. G. Wibowo, D. Devitriano, M. Afdal, and J. Jalius, "Landfill Gas Prospect as a Renewable Energy Source at Talang Gulo Jambi City, Jambi Province, Indonesia," *Ecol. Eng. Environ. Technol.*, vol. 24, no. 8, pp. 311–320, 2023.
- [27] K. A. Rodrigue, K. Essi, K. M. Cyril, and T. Albert, "Estimation of methane emission from Kossihouen sanitary landfill and its electricity generation potential (Côte d'Ivoire)," *J. Power Energy Eng.*, vol. 6, no. 07, pp. 22–31, 2018.
- [28] E. F. Aghdam, A. M. Fredenslund, J. Chanton, P. Kjeldsen, and C. Scheutz, "Determination of gas recovery efficiency at two Danish landfills by performing downwind methane measurements and stable carbon isotopic analysis," *Waste Manag.*, vol. 73, pp. 220–229, 2018.
- [29] I. Sohoo, M. Ritzkowski, Z. A. Sohu, S. Ö. Cinar, Z. K. Chong, and K. Kuchta, "Estimation of methane production and electrical energy generation from municipal solid waste disposal sites in Pakistan," *Energies*, vol. 14, no. 9, p. 2444, 2021.
- [30] X. Wang, A. S. Nagpure, J. F. DeCarolis, and M. A. Barlaz, "Characterization of uncertainty in estimation of methane collection from select US landfills," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 3, pp. 1545–1551, 2015.
- [31] F. B. De la Cruz *et al.*, "Comparison of field measurements to methane emissions models at a new landfill," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 50, no. 17, pp. 9432–9441, 2016.