

ESTIMASI EMISI METANA (CH₄) DI TEMPAT PEMROSESAN AKHIR SAMPAH KOTA PEKANBARU MENGGUNAKAN DISPERSI AERMOD

Estimation of Methane (CH₄) Emissions at the Pekanbaru City Landfill using AERMOD Dispersion

Dinda Lestari¹, Yulia Fitri², Sri Fitria Retnawaty³, Nofia Rahmadani⁴,
Sri Mulyani⁵, Selvia⁶

Program Studi Fisika, Universitas Muhammadiyah Riau
Jalan Tuanku Tambusai, Pekanbaru, Riau

Surel: ¹190203024@student.umri.ac.id, ²yuliafitri@umri.ac.id, ³fitriretno@umri.ac.id
⁴190203021@student.umri.ac.id, ⁵190203016@student.umri.ac.id, ⁶190203013@student.umri.ac.id

Diterima : 14 September 2023;

Disetujui : 25 Maret 2024

Abstrak

Metana yaitu satu jenis gas pembentuk efek rumah kaca yang mempunyai kekuatan potensial 21 kali lebih besar dari pada karbon dioksida (CO₂). Oleh karena itu, perlu dilakukan estimasi kualitas polutan yang dilepaskan oleh TPA di seluruh dunia. Tujuan dari penelitian ini adalah memprediksi jumlah metana yang diemisikan dari TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru dengan menggunakan model Landfill Gas Emissions (LandGEM). AERMOD digunakan untuk memodelkan sebaran polutan yang dihasilkan oleh TPA. Model ini membutuhkan data meteorologi seperti suhu, temperatur, kecepatan dan arah angin, radiasi, tekanan udara, tutupan awan, kelembaban dan ketinggian dasar awan. Parameter meteorologi yang dipakai pada penelitian ini adalah data meteorologi yang didapatkan dari Climate Data Store (CDS) Kota Pekanbaru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa puncak emisi metana yang dihasilkan TPA Muara Fajar 2 sebesar 19.290 Mg/tahun pada tahun 2049. Penyebaran polutan menunjukkan hasil bahwa pada tahun 2019 sebagian besar wilayah TPA Muara Fajar 2 berkonsentrasi sebesar 7813 µg/m³ hingga 781311 µg/m³. Namun pada tahun 2022 konsentrasi tersebut meningkat menjadi sebesar 9013 µg/m³ hingga 901311 µg/m³. Peningkatan tersebut dipengaruhi dengan peningkatan emisi metana yang dihasilkan dari timbulan sampah di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. Polutan gas metana yang dihasilkan oleh TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru diperkirakan berada dalam rentang 10,67 ppm hingga 13,72 ppm sehingga tidak memberi dampak bagi lingkungan sekitar dan para pekerja di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru.

Kata Kunci: Timbulan sampah, emisi, metana, landGEM, AERMOD

Abstract

Methane is a type of greenhouse effect-forming gas that has a potential strength 21 times greater than carbon dioxide (CO₂). Consequently, it is vital to assess the level of pollutants discharged by final wastes process sites globally. This research aims to forecast the quantity of methane emitted from the Muara Fajar 2 final wastes process sites in Pekanbaru City using the Landfill Gas Emissions (LandGEM) model. AERMOD is used to model the distribution of pollutants generated by final wastes process sites. This model requires meteorological data such as temperature, temperature, wind direction, wind speed, radiation, air pressure, cloud cover, humidity and cloud base height. The meteorological parameters used in this study are meteorological data obtained from the Climate Data Store (CDS) of Pekanbaru City. The results showed that the peak of methane emissions produced by Muara Fajar 2 final wastes process sites was 19,290 Mg/year in 2049. Pollutant dispersion shows that in 2019 most of the Muara Fajar 2 landfill area has concentrations of 7813 µg/m³ to 781311 µg/m³. However, in 2022 the concentration increases to 9013 µg/m³ to 901311 µg/m³. The increase was influenced by the increase in methane emissions resulting from waste generation in Muara Fajar 2 landfill in Pekanbaru City. Methane gas pollutants produced by Muara Fajar 2 Landfill Pekanbaru City are estimated to be in the range of 10.67 ppm to 13.72 ppm so that it does not have an impact on the surrounding environment and workers at Muara Fajar 2 Landfill Pekanbaru City.

Keywords: Waste generations, emissions, methana, landGEM, AERMOD

PENDAHULUAN

Kota Pekanbaru mengalami perkembangan yang sangat pesat dengan laju pertumbuhan penduduk tahunan sebesar 1,30%. Berdasarkan data timbulan sampah dari DLHK Kota Pekanbaru, diperoleh laju pertumbuhan sampah setiap tahunnya yaitu sebesar 5%. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah Muara Fajar 2 merupakan tempat pembuangan sampah di Kota Pekanbaru yang menerapkan sistem pengelolaan *sanitary landfill* (Nugroho, 2019). *Sanitary landfill* merupakan salah satu metode pengelolaan sampah Kota yang paling ekonomis (Gonzalez-Valencia et al. 2016; Feng et al. 2018). Sistem pengelolaan *sanitary landfill* adalah pembuangan sampah di TPA yang diikuti dengan penutupan sampah dengan tanah (Manik, 2018). Peraturan tentang pengelolaan sampah agar efisien dan efektif telah ditetapkan oleh Undang-undang No. 18 Tahun 2008 (Perda, 2014). Limbah padat yang tidak dikelola dengan baik dapat mencemari udara, air, tanah dan menghasilkan gas rumah kaca (Dabe et al. 2018). Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk distribusi polutan berupa gas metana (CH₄) yang dihasilkan dari TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru.

Timbunan sampah di TPA berakibat pada terjadinya gas rumah kaca yang di antaranya diakibatkan oleh gas metana yang merupakan gas yang terbesar jumlahnya yang dihasilkan dari TPA (Talaiekhazani et al. 2016a). Metana adalah satu di antara jenis-jenis gas rumah kaca yang mempunyai kekuatan potensial 21 kali lebih besar dari pada CO₂ (Nikkhah et al. 2018). Peningkatan jumlah emisi metana di atmosfer akan menghasilkan perubahan iklim yang besar (Shikwambana et al. 2022). Estimasi emisi gas metana di TPA telah mendapat banyak perhatian dari peneliti (Xu et al. 2014; Fathi Aghdam et al. 2017). Studi yang dilakukan oleh Badan Lingkungan Hidup Eropa menunjukkan bahwa TPA dapat mengeluarkan sekitar 400 gas yang berbahaya (Jiménez-Rivero & García-Navarro 2017). Metana merupakan gas tidak berwarna dan tidak beracun, namun gas ini dapat menyebabkan kebakaran dan ledakan pada konsentrasi 5-15% di udara (Hurley et al. 2016; Sumarna et al. 2018).

Kota Pekanbaru yaitu ibu kota Provinsi Riau, secara geografis Kota Pekanbaru terletak antara 0°25' - 0°45' LU dan 101°14' - 101°34' BT (BPS, 2023). Kota ini memiliki tingkat kemiringan yang relatif datar dengan rentang 0-2% dan memiliki ketinggian 5-50 meter diatas permukaan laut (Pidii, 2020).

Sasmita et al. (2016) melaporkan bahwa pada tahun 2019, timbulan gas metana terbesar dari degradasi sampah di TPA Muara Fajar 1 Pekanbaru sebesar 1.331.487 m³/tahun dan di perkirakan gas akan habis pada tahun 2096. Rahmi et al. (2017)

memprediksikan bahwa pada tahun 2020, produksi gas metana dari proses dekomposisi anaerobik dari limbah padat kota di TPA Pekanbaru sebesar 1.888.551 m³/tahun setara dengan 215.588 m³/jam. Meningkatnya produksi gas metana berhubungan dengan faktor penguraian sampah organik. TPA Muara Fajar 1 telah mencapai batas maksimal untuk menampung sampah Kota Pekanbaru. Kondisi ini membuat pengalihan pembuangan sampah ke TPA Muara Fajar 2. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut guna memprediksi produksi gas metana di TPA Muara Fajar 2. Memahami pola pelepasan gas metana di TPA dapat menjadi dasar penentuan langkah-langkah untuk mengurangi emisi gas berbahaya ini, sehingga berkontribusi pada upaya global dalam mengatasi perubahan iklim.

Distribusi polutan memiliki peran penting dalam pemantauan kualitas udara dan membantu mengidentifikasi area yang dipenuhi gas metana. Hasil yang didapatkan digunakan sebagai acuan untuk pihak terkait dalam upaya merancang strategi pengelolaan lingkungan yang lebih efektif. Penelitian mengenai distribusi polutan dari TPA sudah banyak dilakukan, namun belum ada peneliti yang memodelkan gas metana di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah 1) memprediksi jumlah polutan metana yang diemisikan dari TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru dengan menggunakan model *Landfill Gas Emissions (LandGEM)*, dan 2) memodelkan sebaran polutan dengan menggunakan perangkat lunak *American Meteorology Society Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD)*.

METODE

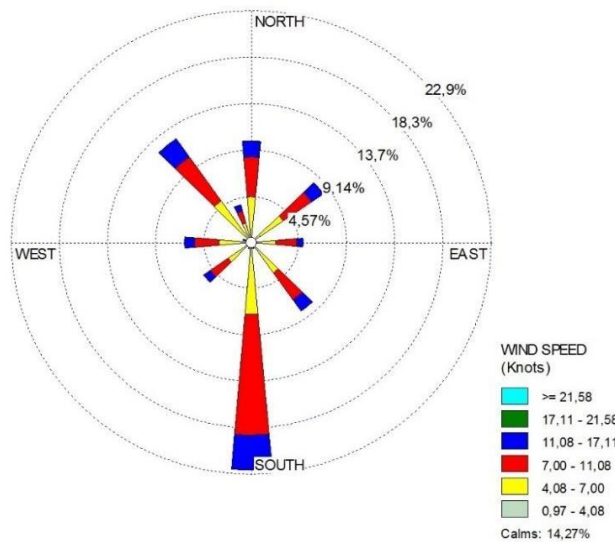
Prediksi Populasi

Prediksi populasi Kota Pekanbaru pada tahun 2023-2048 dapat dihitung menggunakan persamaan 1 (Lippman, 2013).

$$P_n = P_0(1 + r)^n \dots \dots \dots (1)$$

P_n adalah jumlah penduduk pada tahun ke-n, P₀ adalah jumlah penduduk saat ini, r adalah tingkat pertumbuhan penduduk, n adalah jumlah rentang tahun. Penelitian ini mengasumsikan bahwa tingkat pertumbuhan penduduk dari tahun 2023 - 2048 akan tetap stabil dengan laju pertumbuhan sebesar 5%.

Curah hujan rata-rata di Kota Pekanbaru pada tahun 2022 berkisar 473 mm³/tahun sedangkan suhu rata-ratanya berkisar 26,0°C - 27,7°C (BPS, 2023). Berdasarkan *wind rose* yang ditunjukkan Gambar 1 arah dan kecepatan angin Kota Pekanbaru dominan berasal dari selatan.



Gambar 3 Arah dan Kecepatan Angin Kota Pekanbaru Tahun 2022

(Sumber : BMKG 2023)

Gambar 1 menunjukkan bahwa sekitar 14,27% kondisi angin termasuk dalam kategori angin yang tenang (BMKG, 2023).

Secara geografis TPA Muara Fajar 2 terletak antara 0° 39' 30" LU dan 101° 26' 36" BT dengan jarak 18 km dari Kota Pekanbaru yang diperoleh dari *Global Positioning System* (GPS).

Faktor iklim berpengaruh terhadap pengelolaan TPA dan merupakan salah satu faktor lingkungan yang paling penting (Talaiekhosani et al. 2016b). Kota Pekanbaru yang terletak di Provinsi Riau dapat diklasifikasikan sebagai daerah dengan iklim basah berdasarkan penelitian (Rahmanto et al. 2022) menggunakan klasifikasi iklim *Schmidt-Ferguson*, metode *Thiessen-Polygon* dan data curah hujan bulanan dari tahun 1991 sampai tahun 2020.

Estimasi Emisi Metana (CH₄) Menggunakan LandGEM

TPA Muara Fajar 2 merupakan TPA daerah yang menampung sampah dari seluruh kecamatan Kota Pekanbaru tanpa pengelolaan lebih lanjut.

Tabel 1 Jumlah Timbulan Sampah dan Penduduk Kota Pekanbaru

Tahun	Timbulan Sampah Ton/Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2018	189.082	1.117.359
2019	293.489	1.143.359
2020	283.523	983.356
2021	143.321	994.585
2022	227.851	1.007.540

(Sumber : DLHK, BPS Kota Pekanbaru 2023)

Tabel 1 menunjukkan jumlah timbulan sampah dan jumlah penduduk Kota Pekanbaru 5 tahun terakhir.

Model *LandGEM* digunakan untuk memperkirakan jumlah emisi metana yang diproduksi oleh TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. Model ini dikembangkan oleh Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat (US EPA) (Talaiekhosani, 2015), yang merupakan *software* untuk memperkirakan jumlah gas yang dihasilkan TPA dalam jangka panjang hingga 80 tahun ke depan. Untuk menjalankan model ini, diperlukan berbagai jenis data masukan, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Masukan LandGEM

Karakteristik Landfill	
Tahun awal operasional	: 2018
Tahun penutupan	: 2048
Perhitungan tahun penutup	: No
Parameter model	
Koefisien timbulan metana (k)	: 0,04 per tahun
Kapasitas potensi timbulan metana (L ₀)	: 100 m ³ /Mg
Karbon organik non metana (NMOC)	: <i>Unknow</i>
Persentase komposisi metana	: 60% by volume

Untuk memperkirakan jumlah polutan yang dihasilkan dari TPA, dapat menggunakan persamaan (2).

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^n \sum_{i=0.1}^n kL_0 \left(\frac{M_i}{10}\right) e^{-ktij} \dots\dots\dots (2)$$

dimana Q_{CH_4} adalah timbunan metana tahunan pada tahun perhitungan ($m^3/tahun$), i adalah pertambahan waktu satu tahun, n adalah (tahun perhitungan) - (tahun awal penerimaan sampah), j adalah selisih waktu 0,1 tahun, k adalah laju timbunan metana (tahun-1), L_0 adalah potensi kapasitas timbunan metana (m^3/ton), M_i adalah massa sampah yang diterima pada tahun ke- i (ton), t_{ij} adalah usia sampah ke- j dari massa sampah M_i yang diterima pada tahun ke- i (dalam sepersepuluh tahun).

Pemodelan Distribusi Gas Metana (CH₄)

Penelitian ini memodelkan distribusi polutan gas metana menggunakan AERMOD. Model ini dikembangkan oleh *American Meteorological Society* (AMS) serta U.S. *Environment Protection Agency* (EPA) (EPA, 2016). AERMOD memiliki kemampuan untuk menganalisis dispersi polutan baik di wilayah pedesaan maupun perkotaan (Matacchiera et al. 2018). Model ini dapat menghitung rata-rata tahunan, bulan, dan harian dari data meteorologi perjam (Talaiekhosani et al. 2018). Pemrosesan model ini membutuhkan data meteorologi seperti suhu, temperatur, kecepatan dan arah angin, radiasi, tekanan udara, tutupan awan, kelembaban dan ketinggian dasar awan. Parameter meteorologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu periode tahun 2019, 2020, 2021 dan 2022 yang diperoleh dari web *Climate Data Store* (CDS) Kota Pekanbaru (CDS, 2023). Sistem pemodelan AERMOD terdiri dari 2 bagian yaitu *AERMET* berfungsi untuk menghitung keseimbangan panas permukaan dan menentukan apakah atmosfer bersifat stabil atau konvektif (Visscher, 2013). Sedangkan AERMOD sendiri berfungsi untuk memperkirakan dispersi polutan ke atmosfer (Desinawati et al. 2022). Hasil yang diperoleh dari model ini berupa peta distribusi polutan gas metana yang diamati di sekitar TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru.

HASIL DAN PEMBAHASAN

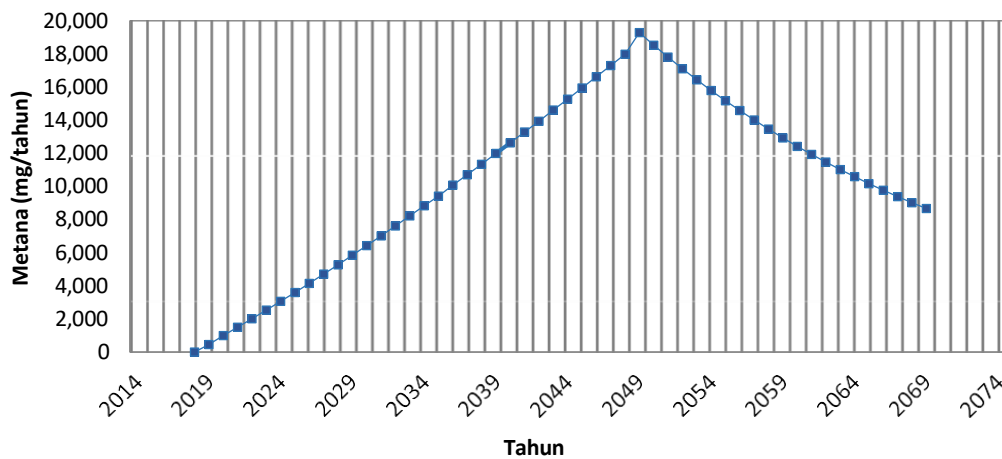
Emisi Gas Metana (CH₄)

Total timbunan sampah di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru pada tahun 2018 sebesar 189.082 ton/tahun, namun pada tahun 2022 angka tersebut meningkat menjadi 227.851 ton/tahun. Hasil penelitian memperlihatkan jika TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru diproyeksi menggunakan metode eksponensial akan terjadi peningkatan timbunan sampah sebesar 238.727 ton/tahun pada tahun 2023 dengan perkiraan peningkatan mencapai 765.871 ton/tahun pada tahun 2048. Hasil proyeksi timbunan sampah yang dibuang ke TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Proyeksi Timbunan Sampah Kota Pekanbaru 2023-2048

Tahun	Ton/Tahun	Tahun	Ton/Tahun
2023	238.727	2036	437.677
2024	250.122	2037	458.568
2025	262.060	2038	480.456
2026	274.569	2039	503.389
2027	287.675	2040	527.417
2028	301.406	2041	552.592
2029	315.793	2042	578.968
2030	330.866	2043	606.603
2031	346.659	2044	635.558
2032	363.206	2045	665.894
2033	380.542	2046	697.679
2034	398.706	2047	730.980
2035	417.737	2048	765.871

Model *LandGEM* memperkirakan pada tahun 2019 emisi gas metana yang dihasilkan sebesar 495,6 Mg/tahun, namun pada tahun 2049 gas tersebut meningkat menjadi 19.290 Mg/tahun. Tren peningkatan emisi gas metana di TPA Muara Fajar 2 dapat dilihat pada Gambar 2. Peningkatan tersebut dipengaruhi banyaknya jumlah sampah yang berasal dari sampah organik. Berdasarkan data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN, 2022), jenis sampah yang paling banyak dibuang di TPA Muara Fajar 2 adalah sampah organik sebanyak 59% (makanan). Waktu paruh bahan organik, khususnya yang bersumber dari sampah makanan memiliki pengaruh penting terhadap emisi metana (Ramprasad et al. 2022). Diperkirakan peningkatan produksi gas metana oleh TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru akan terus meningkat seiring dengan beroperasinya TPA tersebut sampai akhir operasionalnya. Selama TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru masih aktif, siklus penumpukan sampah akan terus berlangsung dan berdampak pada emisi gas metana yang dihasilkan. Hasil dari penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Wijaya et al. (2021) yang menunjukkan bahwa produksi gas metana yang terjadi di TPA Sarimukti terus meningkat hingga penutupan TPA. Penurunan produksi gas metana terjadi karena sampah telah mencapai titik dimana tidak ada lagi penambahan bahan organik untuk menghasilkan gas metana. Proses ini terjadi pada dekomposisi sampah organik yang melibatkan bakteri metanogenesis yang akan membantu terbentuknya gas metana dalam kondisi anaerobik. Dengan berjalannya waktu, bakteri tersebut akan terus mengurai sampah sehingga produksi gas metana menjadi berkurang secara bertahap (Maulana, 2018).



Gambar 4 Tren Peningkatan Emisi Gas Metana di TPA Muara Fajar 2

(Sumber : LandGEM, 2023)

Tabel 4 Hasil Uji Statistik Deskriptif CH₄ Tahun 2018-2022

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Jumlah Penduduk	5	983356.00	1143359.00	1049239.8000	75108.82905
Timbulan Sampah	5	143321.00	293489.00	227453.2000	63354.72292
EmisiCH ₄	5	.00	9972.00	3618.0000	3919.42898
Valid N (listwise)	5				

(Sumber : Hasil SPSS)

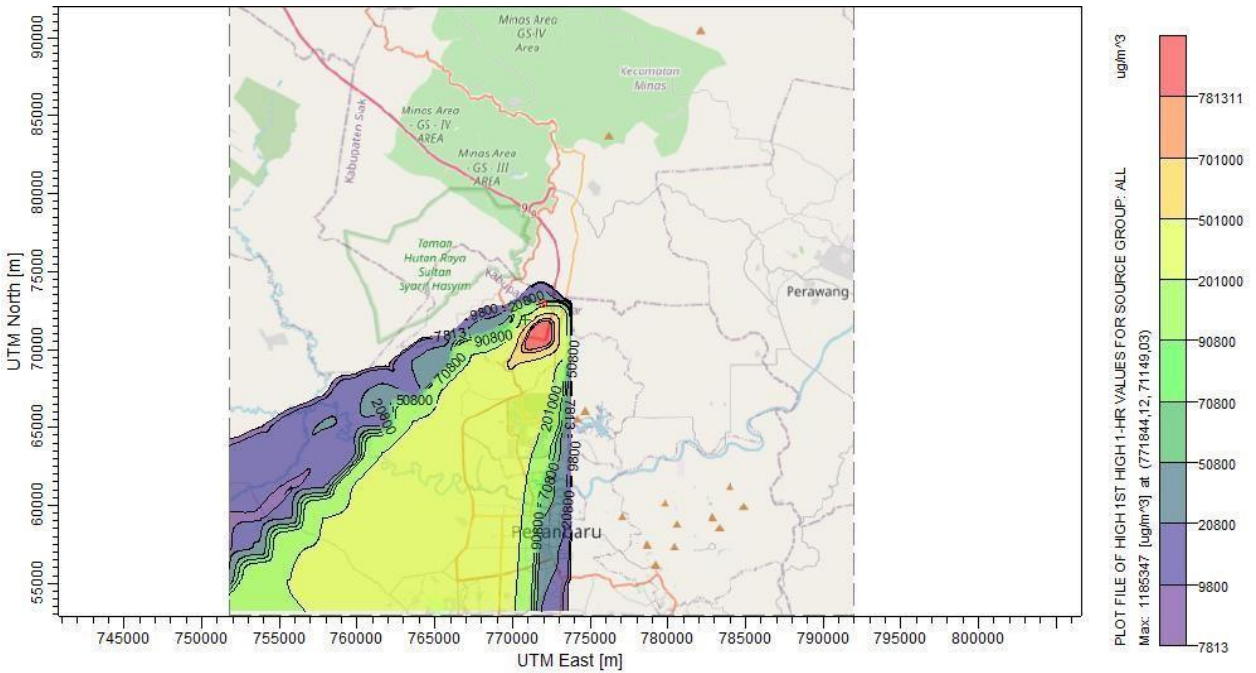
Hasil uji statistik menunjukkan nilai maksimum dan minimum CH₄ dari periode 2018 hingga 2022 berada dalam kisaran 983.356 hingga 143,321. Nilai standar deviasi dan mean pada Tabel 4 menunjukkan bahwa beberapa pengukuran menunjukkan distribusi yang tinggi. Variasi dalam nilai emisi dipengaruhi oleh jumlah sampah. Penelitian yang dilakukan Mota et al. (2019) menunjukkan bahwa secara umum tingkat konsentrasi metana yang paling tinggi berkorelasi dengan suhu tertinggi pada biogas. Konsentrasi maksimum menghasilkan CH₄ (59,2%) terjadi pada suhu 36,8°C, sedangkan konsentrasi minimum menghasilkan CH₄ (43,2%) yang terjadi pada suhu 25,4°C.

Dispersi Gas Metana (CH₄)

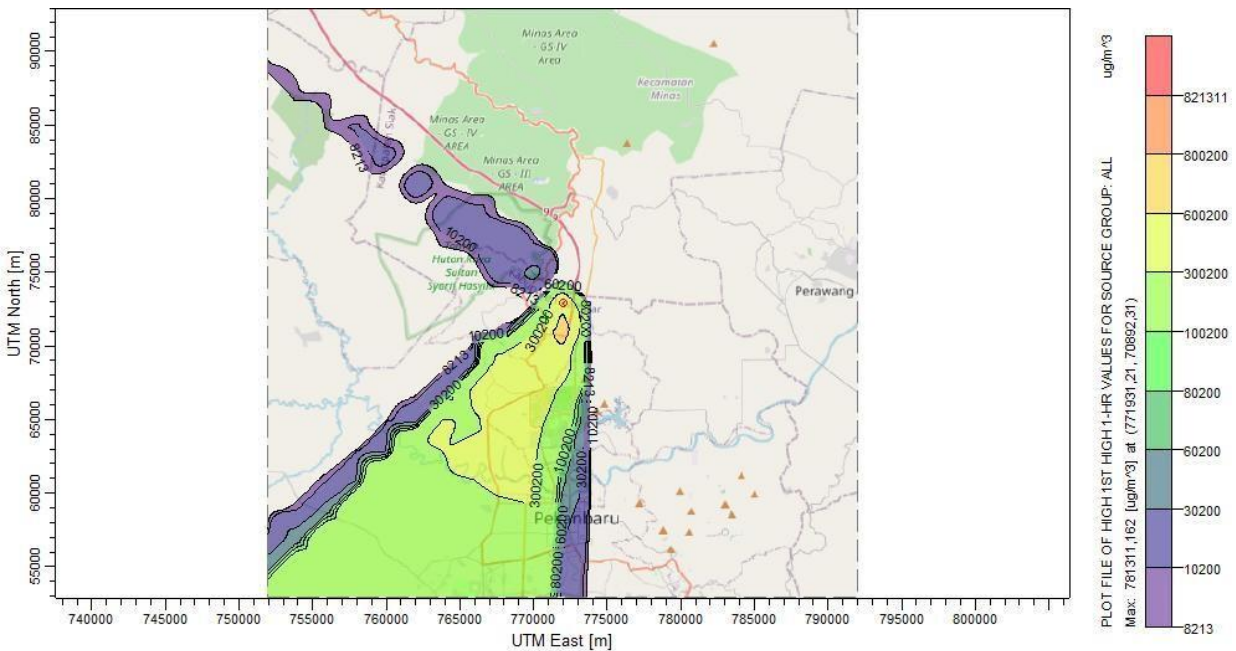
Proses penimbunan sampah di TPA menghasilkan gas rumah kaca salah satunya adalah gas metana yang merupakan gas yang terbesar yang dihasilkan dari TPA. Metana merupakan salah satu gas yang tidak beracun dan memiliki potensi ledakan pada konsentrasi sekitar 35,310,000 µg/m³ (Atia, 2004). Gambar 3, 4, 5 dan 6 menunjukkan dispersi gas metana yang dihasilkan TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru pada periode 2019, 2020, 2021 dan 2022. Gambar 3 menunjukkan hasil dispersi pada tahun 2019 sebagian besar wilayah TPA Muara Fajar 2 berkonsentrasi sebesar 7813 µg/m³ hingga 781311

µg/m³. Konsentrasi sebagian besar wilayah TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru pada tahun 2020 berkisar antara 8213 µg/m³ hingga 821311 µg/m³ ditunjukkan pada Gambar 4. Tahun 2021 konsentrasi emisi metana berkisar antara 8613 µg/m³ hingga 861311 µg/m³ yang ditunjukkan pada gambar 5. Namun pada tahun 2022 konsentrasi emisi metana meningkat sebesar 9013 µg/m³ hingga 901311 µg/m³ yang ditunjukkan pada Gambar 6. Peningkatan tersebut dipengaruhi oleh sampah organik terutama dari sampah makanan yang berperan besar dalam peningkatan emisi metana. Metana merupakan gas yang dapat menyebabkan sesak napas dengan konsentrasi yang melebihi ambang batas (Rahma et al., 2015). Hasil dari pemodelan AERMOD yang ditunjukkan pada Gambar 3, 4, 5 dan 6, konsentrasi metana yang dihasilkan oleh TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru tidak memberi dampak bagi lingkungan sekitar. *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) telah menetapkan bahwa batas paparan metana untuk pekerja selama periode 8 jam adalah sekitar 1000 ppm (Atia A, 2004). Pada konsentrasi lebih dari 1000 ppm, metana dapat menyebabkan masalah seperti perubahan suasana hati, bicara cadel, masalah penglihatan, kehilangan ingatan, mual, muntah, kulit memerah dan sakit kepala (Samudro et al., 2023).

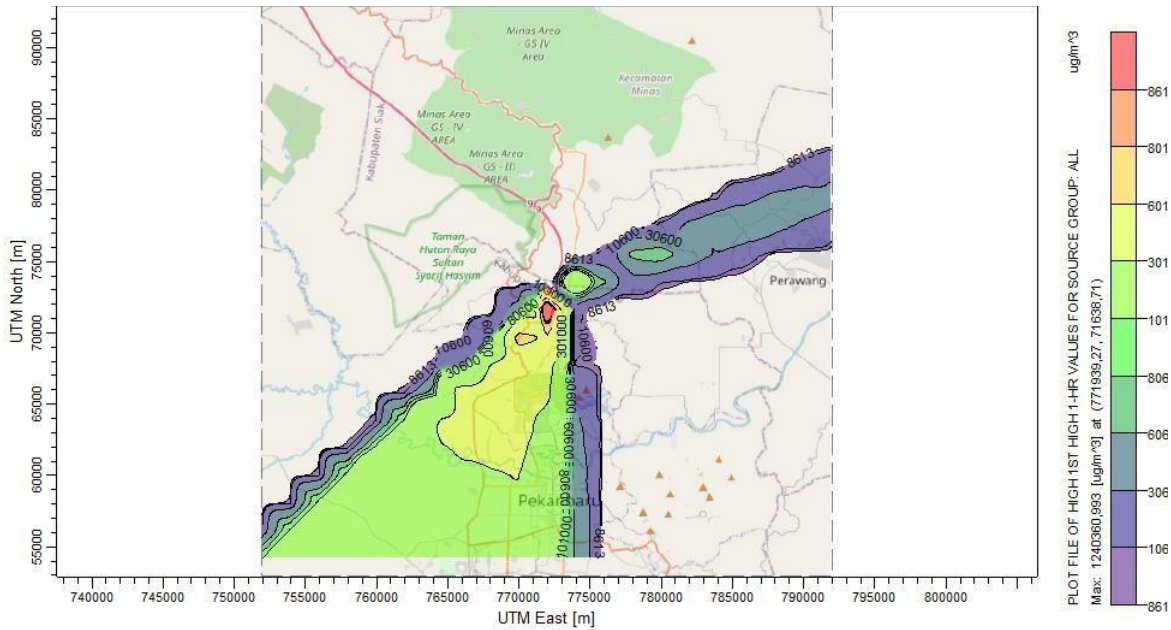
Hasil dispersi gas metana periode 2019, 2020, 2021 lingkungan sekitar dan para pekerja di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. dan 2022 tidak menimbulkan masalah bagi



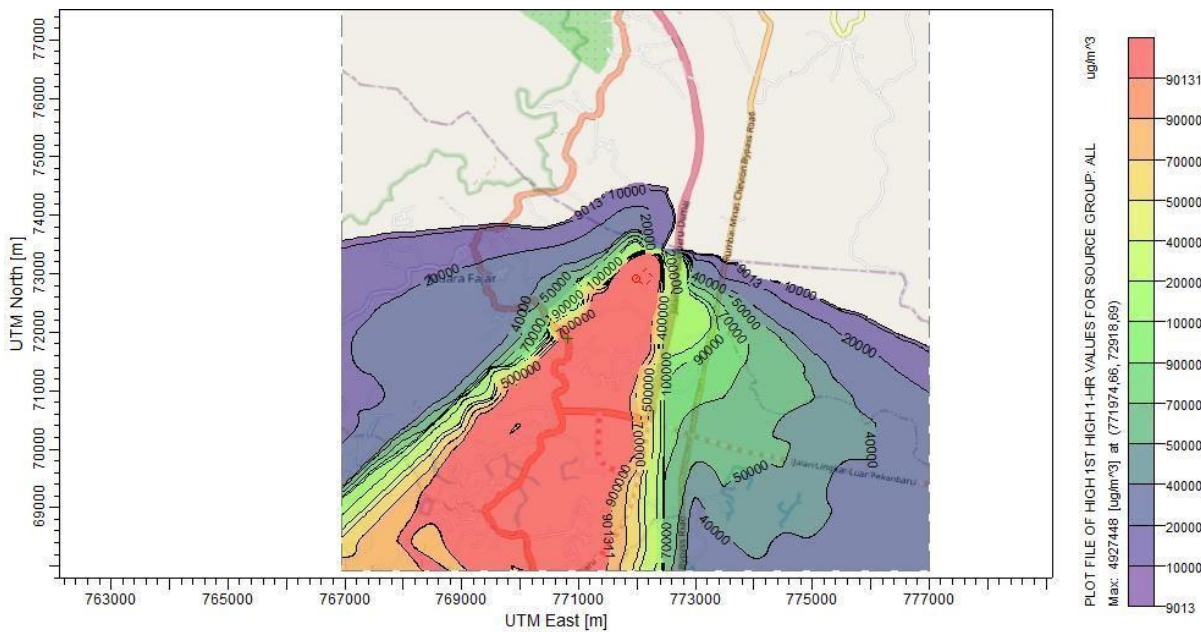
Gambar 3 Pemodelan Dispersi Metana Di TPA Muara Fajar 2 Tahun 2019



Gambar 4 Pemodelan Dispersi Metana Di TPA Muara Fajar 2 Tahun 2020



Gambar 5 Pemodelan Dispersi Metana Di TPA Muara Fajar 2 Tahun 2021



Gambar 6 Pemodelan Dispersi Metana Di TPA Muara Fajar 2 Tahun 2022

KESIMPULAN

Penelitian ini mengestimasi emisi gas metana dari TPA Muara Fajar 2 dengan menggunakan model *LandGEM*. Model *LandGEM* dipilih karena bisa memperkirakan jumlah gas yang dihasilkan TPA dalam jangka panjang hingga 80 tahun ke depan. Model *AERMOD* digunakan untuk memodelkan penyebaran polutan gas metana yang dilepaskan dari TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah gas metana yang lebih

tinggi akan dihasilkan dari TPA Muara Fajar 2 setahun setelah penutupan TPA yang direncanakan pada tahun 2048. Hasil dari model *LandGEM* diperkirakan 19.290 Mg/tahun metana akan dilepaskan antara tahun 2018 hingga 2049. Model *AERMOD* menunjukkan bahwa pada tahun 2019 sebagian besar wilayah TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru berkonsentrasi sebesar 7813 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 781311 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tahun 2020 berkonsentrasi sebesar 8213 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 821311 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tahun 2021 berkonsentrasi sebesar 8613 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hingga 861311

µg/m³. Namun pada tahun 2022 konsentrasi emisi metana meningkat sebesar 9013 µg/m³ hingga 901311 µg/m³. Peningkatan tersebut disebabkan oleh sampah organik. *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) menetapkan bahwa batas paparan metana untuk pekerja selama periode 8 jam adalah sekitar 1000 ppm. Konsentrasi metana di sekitar TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru diperkirakan berada dalam rentang 10,67 ppm hingga 13,72 ppm. Sehingga tidak menyebabkan masalah bagi lingkungan sekitar dan para pekerja di TPA Muara Fajar 2 Kota Pekanbaru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Pekanbaru, Badan Amil Zakat Provinsi Riau, Dosen Pembimbing I ibu Yulia Fitri, M.Si., Dosen Pembimbing II ibu Sri Fitria Retnawaty, S.Si., MT., rekan-rekan penelitian yang ikut serta berkontribusi dan keluarga yang senantiasa memberi dukungan dan do'a.

DAFTAR PUSTAKA

- Atia, A., 2004. "Methane (CH₄) Safety." *Agri-Facts*, no. August: 8-9.
- [BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2023. Arah Dan Kecepatan Angin. Staklim-Riau.Bmkg.Go.Id. 2023. <https://staklim-riau.bmkg.go.id/infografis/detail/RWZjcCtHaW5nc1NLaW9zY0oxWjE3QT09>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2023. *Kota Pekanbaru Dalam Angka*. Pekanbaru: BPS Kota Pekanbaru.
- [CDS] Climate Data Store. 2023. Meteorologi. 5 Mei. <https://cds.climate.copernicus.eu/user/reset/199807/1684994145/ObLqjJKpn3LkINr2WLaWBPWBRsbZPB4kldQVvOUSzo>.
- Dabe, Satish J., Poonam J. Prasad, A. N. Vaidya, and H. J. Purohit. 2018. Technological Pathways for Bioenergy Generation from Municipal Solid Waste: Renewable Energy Option. *Environmental Progress and Sustainable Energy* : 1-18.
- Desinawati, Atmira Dinha Astuti, Elanda Reinelda Purnama, and Aan Jimmy Agustian. 2022. Analisis Persebaran Polutan Udara Dengan Menggunakan Pemodelan Aermod Dalam Mewujudkan Pengelolaan Lingkungan Di Perusahaan Tambang Semen 1 (1): 11-20.
- EPA. 2016. User's Guide for the AMS/EPA Regulatory Model (AERMOD). EPA-454/B-16-011.
- [Perda] Peraturan Daerah. 2014. Peraturan Daerah Kota Pekanbaru Nomor 08 Tahun 2004 Tentang Pengelolaan Sampah.
- [DLHK] Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Pekanbaru. 2023. Pengelolaan Sampah dan Kebersihan.
- Fathi Aghdam, Ehsan, Charlotte Scheutz, and Peter Kjeldsen. 2016. Assessment of Methane Production from Shredder Waste in Landfills: The Influence of Temperature, Moisture and Metals. *Waste Management* : 226-37.
- Feng, Shi Jin, Zheng Wei Chen, Hong Xin Chen, Qi Teng Zheng, and Run Liu. 2018. Slope Stability of Landfills Considering Leachate Recirculation Using Vertical Wells. *Engineering Geology* 241 : 76-85.
- Gonzalez-Valencia, Rodrigo, Felipe Magana-Rodriguez, Jordi Cristóbal, and Frederic Thalasso. 2016. "Hotspot Detection and Spatial Distribution of Methane Emissions from Landfills by a Surface Probe Method." *Waste Management* :1-7.
- Hurley, Morgan J., Daniel Gottuk, John R. Hall, Kazunori Harada, Erica Kuligowski, Milosh Puchovsky, José Torero, JJohn M. Watts, and Christopher Wieczorek. 2016. *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Fifth Edition*. Amerika Serikat: SFPE.
- Jiménez-Rivero, Ana, and Justo García-Navarro. 2017. Exploring Factors Influencing Post-Consumer Gypsum Recycling and Landfilling in the European Union. *Resources, Conservation and Recycling* 116 : 116-23.
- Lippman, David. 2013. *Math in Society*. Amerika Serikat.
- Manik. 2018. *Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Kencana.
- Matacchiera, F., C. Manes, R. P. Beaven, T. C. Rees-White, F. Boano, J. Mønster, and C. Scheutz. 2018. AERMOD as a Gaussian Dispersion Model for Planning Tracer Gas Dispersion Tests for Landfill Methane Emission Quantification. *Waste Management*, 1-13.
- Maulana, Reihan. 2018. Perencanaan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Kabupaten Pasuruan Dengan Metode Lahan Urug Saniter. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Mota, Francisco Suetônio, Lorena S. Monteiro, Wildson Max B. da Silva, and David A. Borges. 2019. Climatic Characteristics And Hourly Variations In Biogas Concentration In A Sanitary Landfill In Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais (RBCIAMB)*, 1-12.
- Nikkhah, Amin, Mehdi Khojastehpour, and Mohammad Hossein Abbaspour-Fard. 2018. Hybrid Landfill Gas Emissions Modeling and Life Cycle Assessment for Determining the Appropriate Period to Install Biogas System. *Journal of Cleaner Production* 1-33.
- Nugroho, Tri. 2019. Analisis Pengelolaan Sampah Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Muara Fajar Oleh Bidang Pengelolaan Sampah Dinas Lingkungan Hidup Dan Kebersihan Kota Pekanbaru. Skripsi. Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik Universitas Islam Riau.

- Pidii. 2020. *Potensi Dan Peluang Investasi Kota Pekanbaru*. Pekanbaru: Pidii.
- Rahma, Ratih Andhika A., Yulia Lanti Retno Dewi, and Prabang Setyono. 2015. "Pengaruh Paparan Gas Metana (CH₄), Karbon Dioksida (CO₂) Dan Hidrogen Sulfida (H₂S) Terhadap Keluhan Gangguan Pernapasan Pemulung Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah Klotok Kota Kediri." *Jurnal EKOSAINS* 7 (2): 105–16.
- Rahmanto, Edi, Sabila Rahmabudhi, and Tia Kustia. 2022. Analisis Spasial Penentuan Tipe Iklim Menurut Klasifikasi Schmidt – Ferguson Menggunakan Metode Thiessen – Polygon Di Provinsi Riau. *Buletin GAW Bariri* 3 (1): 35–42.
- Rahmi, Herfi, Aryo Sasmita, and Elvi Yenie. 2017. Analisis Produksi Gas Metana (CH₄) Dan Karbon Dioksida (CO₂) Dari Tempat Pembuangan Akhir Kota Pekanbaru. *Jom FTEKNIK* 4 (1): 1–8.
- Ramprasad, C., Hari Charan Teja, Vunnam Gowtham, and Varadam Vikas. 2022. Quantification of Landfill Gas Emissions and Energy Production Potential in Tirupati Municipal Solid Waste Disposal Site by LandGEM Mathematical Model. *MethodsX* 9: 1–12.
- Samudro, Handa, Ganjar Samudro, and Sarwoko Mangkoedihardjo. 2023. *Bangunan Sehat Perancangan Volume Ruang Dan Remediasi Lingkungan*. Nas Media Pustaka.
- Sasmita, Aryo, Ivaini Andesgur, and Herfi Rahmi. 2016. Potensi Produksi Gas Metana Dari Kegiatan Landfilling Di TPA Muara Fajar, Pekanbaru. *Seminar Nasional Teknik Kimia –Teknologi Oleo Petro Kimia Indonesia* : 169–132.
- Shikwambana, Lerato, Boitumelo Mokgoja, and Paidamwoyo Mhangara. 2022. "A Qualitative Assessment of the Trends, Distribution and Sources of Methane in South Africa." *Sustainability (Switzerland)* 14 : 1–13.
- [SIPSN] Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional. 2022. Komposisi Sampah. 1 Agustus. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/>.
- Sumarna, Umar, Nina Sumarni, and Udin Rosidin. 2018. *Bahaya Kerja Serta Faktor-Faktor Yang Mempengaruhinya*. Deepublish.
- Talaiekhazani, A., 2015. Landfill Gas Emissions Model (Land-GEM) Version 3.02 User's Guide. Talaiekhazani.
- Talaiekhazani, Amirreza, Somaye Bahrami, Seyed Mohammad Javad Hashemi, and Sahand Jorfi. 2016a. Evaluation and Analysis of Gaseous Emission in Landfill Area and Estimation of Its Pollutants Dispersion, (Case of Rodan in Hormozgan, Iran). *Environmental Health Engineering and Management* 3 (3): 143–150.
- Talaiekhazani Amirreza, Bahman Masomi, dan Seyed Mohammad Javad Hashemi. 2016b. Evaluation of Gaseous Pollutants Emission Rate from Marvdasht Landfills. *Journal of Advanced Medical Sciences and Applied Technologies* 2 (1): 162-175.
- Talaiekhazani, Amirreza, Mahshid Dokhani, Amin Alebrahim, Zeinab Eskandari, and Shahabaldin Rezania. 2018. Evaluation of Emission Inventory for the Emitted Pollutants from Landfill of Borujerd and Modeling of Dispersion in the Atmosphere. *Urban Climate* 25: 82–98.
- Visscher, Alex De. 2013. *Air Dispersion Modeling Foundations and Applications*. Willey.
- Wijaya, Soni Pratamayudha, Siti Ainun, and Didin Agustian Permadi. 2021. "Methane Emission Estimation and Dispersion Modeling for a Landfill in West Java, Indonesia." *Journal of the Civil Engineering Forum* 7 (3): 239–252.
- Xu, Qiyong, Xiao Jin, Zeyu Ma, Huchun Tao, and Jae Hac Ko. 2014. Methane Production in Simulated Hybrid Bioreactor Landfill. *Bioresource Technology* 1–5.