

Proyeksi Gas Metan (CH_4) dari Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Tualang Di Kecamatan Tualang

Niken Indira Mardani¹, Nico Halomoan²

1. Institut Teknologi Nasional Bandung, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan

Email: nikenindira99@gmail.com

ABSTRAK

Pemanfaatan sampah kota menjadi sumber energi dapat dilakukan dengan memanfaatkan beberapa teknologi diantaranya adalah dengan metode Landfill. Berdasarkan peraturan, TPA di Indonesia sangat dianjurkan untuk menggunakan sistem sanitary landfill. Pada Metode landfill ini sampah ditumpuk dan ditutupi, sehingga menghasilkan gas metan. Gas inilah yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Perencanaan TPA dengan metode Sanitary Landfill ini, setelah dilakukan proyeksi umur masa pakai TPA ini hanya 6 tahun dimulai tahun 2025 sampai 2030. Dengan potensi sampah yang masuk ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah, akan mengalami proses anaerob dalam beberapa lama. Proyeksi ini dibantu dengan software Landfill Gas Emissions Model (LandGem) yang dapat memperkirakan gas metan yang dihasilkan dari total sampah yang masuk ke TPA. TPA Tualang diproyeksikan produksi gas methan sebesar **1.251.300 m³/tahun** pada tahun 2031. Gas methan ditangkap melalui pipa ventilasi gas dan dimanfaatkan menjadi listrik, dimana potensi listrik yang dapat dimanfaatkan berkisar 1.595,55 kWh.

Kata Kunci: LandGem, Sanitary Landfill, Gas Metan, Energi Listrik

1. Pendahuluan

Berdasarkan Undang-Undang (UU) Nomor 18 Tahun 2008, tentang pengelolaan sampah, Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan. Timbulan sampah yang dihasilkan dari banyaknya jumlah penduduk berpengaruh pada peningkatan volume sampah. Sampah yang dihasilkan perlu dilakukan pengelolaan agar tidak merusak lingkungan. Perencanaan pembuatan sistem *sanitary landfill* di TPA harus diupayakan agar daerah sekitar TPA tidak tercemar oleh bau dari timbulan sampah.

Pola kumpul, angkut, lalu buang, akan menyebabkan beban pencemaran di lokasi TPA. Kondisi TPA di Indonesia cenderung basah dan komposisi sampah organik yang hampir 50%-70%, sedangkan sisanya merupakan sampah anorganik (Raudina, 2017). Sampah yang berasal dari aktivitas penduduk sangat besar jumlahnya diduga berpotensi sebagai sumber gas metan. Gas Rumah Kaca (GRK) salah satunya berasal dari gas metan yang menyebabkan efek rumah kaca. Hal ini menyebabkan terjadinya pemanasan global (Herlambang, 2010).

Gas dari *landfill* memiliki potensi untuk digunakan sebagai energi. Memanfaatkan LFG (*landfill gas*) yang dihasilkan dari sampah di TPA menjadi bahan bakar pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Pengukuran emisi gas rumah kaca dalam hal ini gas metan dan karbondioksida dapat

merepresentasikan kondisi *landfill* untuk mengevaluasi efisiensi dari sistem *recovery gas* di *landfill* (Aska, 2017).

Sumber energi baru terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global. Pemanfaatan sampah kota menjadi sumber energi dapat dilakukan dengan memanfaatkan beberapa teknologi diantaranya, pembakaran (*combustion*), pirolisis dan gasifikasi (*pyrolysis and gasification*), proses anaerob (*anaerobic digestion*) (Monice, 2018).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian dengan menganalisis pemanfaatan sampah kota dengan metode *landfill* dengan proses *anaerob* untuk menghasilkan gas metan nantinya. Gas metan akan dimanfaatkan dalam penghasil energi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan hasil proyeksi potensi sampah sampai menjadi gas metan dalam metode *sanitary landfill* dan pada akhirnya gas metan tersebut dikonversikan kepada energi listrik.

2. Metodologi

2.1 Sanitary Landfill

Sanitary Landfill adalah sistem penimbunan sampah secara sehat dimana sampah dibuang di tempat yang rendah atau parit yang digali untuk menampung sampah, lalu sampah ditimbun dengan tanah yang dilakukan lapis demi lapis sedemikian rupa sehingga, sampah tidak berada di alam terbuka (Tchobanoglous et al., 1993).

Didalam lahan *landfill*, limbah organik akan didekomposisi oleh mikroba dalam tanah menjadi senyawa-senyawa gas dan cair. Senyawa ini berinteraksi dengan air yang dikandung oleh limbah dan air hujan yang masuk ke dalam tanah dan membentuk bahan cair yang disebut lindi (*leachate*). Jika *landfill* tidak didesain dengan baik, lindi akan mencemari tanah dan masuk ke dalam badan air di dalam tanah. Oleh karena itu, tanah lapisan TPA harus mempunyai permeabilitas yang rendah. Aktifas mikroba dalam *landfill* menghasilkan gas CH₄ dan CO₂ (pada tahap awal±proses aerobik) dan menghasilkan gas *methane* (pada proses anaerobiknya). Sistem penangkap gas dapat berupa; ventilasi horizontal, yang bertujuan untuk menangkap aliran gas dalam dari satu sel atau lapisan sampah. Ventilasi vertikal, merupakan ventilasi yang mengarahkan dan mengalirkan gas yang terbentuk ke atas. Ventilasi akhir, merupakan ventilasi yang dibangun pada saat timbunan akhir sudah terbentuk, yang dapat dihubungkan pada sarana pengumpul gas untuk dimanfaatkan lebih lanjut (Tchobanoglous et al., 2002).

2.2 LandGEM Model

LandGEM Model adalah alat otomatis yang digunakan untuk menghitung emisi gas dari total *landfill* gas, gas metana, gas karbondioksida, NMOC dan polutan udara individual yang berasal dari sampah perkotaan. LandGEM Model yang terbaru adalah versi 3.02 dari US EPA (2005). Terdapat 2 tipe pemodelan yaitu CAA *default* dan *Inventory default*. CAA *default* yang mengacu pada persyaratan untuk *landfill* sampah perkotaan yang dikeluarkan oleh Clean Air Act (CAA) termasuk New Source Performance Standards (NSPS), Emission Guidelines (EG) dan National Emission Standard Hazardous Air Pollutant (NESHAP). *Inventory default* berdasarkan faktor emisi dari US EPA yaitu *compilation of air pollution emission factor* (AP-42). Nilai/*default* yang dipilih dapat menggunakan data spesifikasi sesuai pengguna. LandGEM Model menggunakan persamaan berdasarkan dekomposisi orde satu untuk memperkirakan emisi gas sesuai periode waktu yang ditentukan.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 K L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-k t i j} \quad (1)$$

Dimana:

- L_0 = Potensi kapasitas produksi metana (m^3 /Megagram)
 K = Laju produksi gas metana ($tahun^{-1}$)
 T = Umur TPA (tahun)
 M_i = jumlah sampah yang masuk ke TPA pada tahun i (ton)
 i = 1-tahun operasional

Nilai L_0 dan k sangat mempengaruhi hasil perhitungan. Perhitungan menggunakan nilai dengan pendekatan kuantitatif yang hampir mendekati kondisi TPA Tualang. Input yang digunakan adalah tahun TPA mulai beroperasi, tahun TPA menerima sampah terakhir. Nilai L_0 dan k bergantung pada kondisi iklim setempat dan komposisi sampah. *Output* berupa tabulasi gas *landfill* sesuai hasil perhitungan dan diinterpretasikan dalam bentuk grafik. Lebih jelasnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Input LandGEM Model

Type Emisi	Type Landfill	L_0 (m^3 /Mg)	$K(tahun^{-1})$
CAA	Conventional	170	0,05
CAA	Arid Area	170	0,02
Inventory	Conventional	100	0,04
Inventory	Arid Area	100	0,02
Inventory	Wet (Bioreactor)	96	0,7

Sumber: US EPA (2005)

Tabel 2. Nilai L_0 dan k yang disarankan

Variabel	Satuan Range		Nilai Disarankan		
			Iklim Basah	Iklim Sedang	Iklim Kering
Iklim*	Q	0-3	0-0,33	0,34-1,0	1,0-3,0
L_0 **	Cf/lb	0-5	2,25-2,88	2,25-2,88	2,25-2,88
K **	l/tahun	0,1-0,35	0,1-0,35	0,05-0,15	0,02-0,10

Sumber: *Klasifikasi oleh Schmidt dan Ferguson

** EPA-430-B-96-0004

Worksheet LandGEM Model meliputi intro, data input pengguna, polutan, *review input*, *methane*, hasil, grafik, *inventory* dan *report*. Perhitungan emisi gas yang tidak diketahui estimasi *closure year*, maka LandGEM Model akan menghitung hingga 80 tahun yang dianggap usia maksimal TPA.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proyeksi Timbulan Sampah Kecamatan Tualang

Proyeksi timbulan sampah dihitung berdasarkan data jembatan timbang dari TPA Tualang. Hasil proyeksi timbulan sampah dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Proyeksi Timbulan Sampah Kecamatan Tualang Tahu 2021-2030

Tahun	Penduduk	Timbulan Sampah (Kg/Hari)	Berat Sampah Terlayani (Kg/Hari)	Berat Sampah Setelah Direduksi (Ton/Tahun)
2021	122.349	99.906	79.925	26.255,24
2022	122.064	99.673	79.738	26.194,04

Tahun	Penduduk	Timbunan Sampah (Kg/Hari)	Berat Sampah Terlayani (Kg/Hari)	Berat Sampah Setelah Direduksi (Ton/Tahun)
2023	123.756	101.055	80.844	26.557,19
2024	125.448	102.437	81.949	26.920,34
2025	127.141	103.818	83.055	27.283,50
2026	128.833	105.200	89.420	27.742,65
2027	130.525	106.582	90.595	28.107,06
2028	132.218	107.964	91.769	28.471,48
2029	133.910	109.346	92.944	28.835,89
2030	135.602	110.728	94.119	29.200,31

Pada perencanaan, TPA sampah ini menggunakan metode area yang membutuhkan penggalian dan penimbunan tanah untuk menciptakan elevasi yang diinginkan.

Tabel 4. Perhitungan Kapasitas *Landfill*

Lift	Tinggi (m)	Luas Bawah (m ²)	Luas Bawah (m ²)	Kemiringan dinding zona (m)	Volume (m ³)	Akumulasi Volume Zona (m ³)
1	5	33.200	29.218	7	155.939	155.939
2	5	27.505	24.225	7	129.238	285.177
3	5	21.950	19.250	7	102.926	388.103
4	5	17.308	14.558	7	79.566	467.669
5	5	13.090	10.498	7	58.851	526.520

3.2 Perhitungan Kapasitas Sel *Sanitary Landfill*

Perhitungan kapasitas sel dengan cara menghitung volume tiap *lift* menggunakan rumus limas terpancung. Berikut contoh perhitungan *lift* 1.

$$\begin{aligned}
 V_{lift} &= 1/3 \times h (La + Lb + (La \times Lb)^{1/2}) \\
 &= 1/3 \times 5 (29.218 \text{ m}^2 + 33.200 \text{ m}^2 + (29.218 \text{ m}^2 \times 33.200 \text{ m}^2)^{1/2}) \\
 &= 155.939 \text{ m}^3
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Hasil perhitungan kapasitas zona terdapat pada tabel perhitungan kapasitas *landfill*. Didapatkan kapasitas zona sebesar 526.520 m³.

Tabel 5. Hasil Proyeksi Umur Masa Pakai TPA

Tahun	Jumlah Sampah yang Masuk Ke TPA (Ton/Tahun)	Tanah Penutup untuk Satu Tahun (m ³ /Tahun)	Total Volume Sampah dan Tanah Penutup untuk Setahun (m ³ /Tahun)	Volume Kapasitas Sel (m ³)	Sisa Volume Kapasitas Sel Dalam Setahun (m ³)
2025	27.283,50	3.031,50	48.504,00	526.520,39	446.425,17
2026	27.742,65	3.082,52	49.320,26	446.425,17	365.513,69
2027	28.107,06	3.123,01	49.968,11	365.513,69	283.954,35
2028	28.471,48	3.163,50	50.615,96	283.954,35	201.747,17
2029	28.835,89	3.203,99	51.263,81	201.747,17	118.892,14
2030	29.200,31	3.244,48	51.911,66	118.892,14	35.389,26
2031	31.303,82	3.478,20	55.651,24	35.389,26	-51.853,20
2032	31.689,67	3.521,07	56.337,20		

Tahun	Jumlah Sampah yang Masuk Ke TPA (Ton/Tahun)	Tanah Penutup untuk Satu Tahun (m ³ /Tahun)	Total Volume Sampah dan Tanah Penutup untuk Setahun (m ³ /Tahun)	Volume Kapasitas Sel (m ³)	Sisa Volume Kapasitas Sel Dalam Setahun (m ³)
2033	32.075,52	3.563,95	57.023,15		

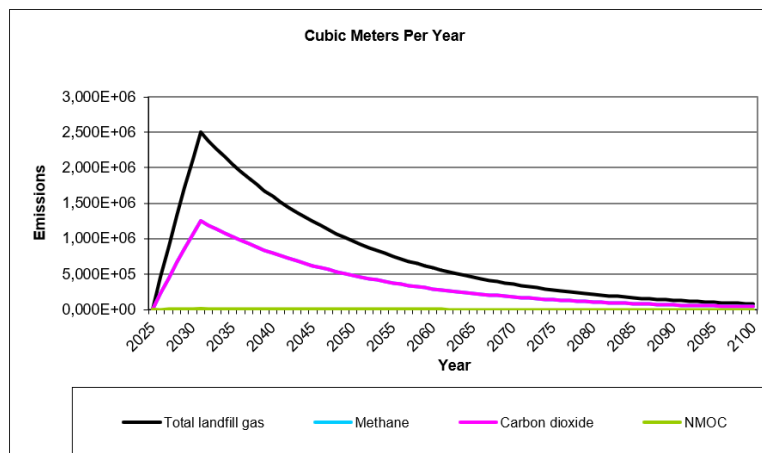
Hasil perhitungan umur pakai TPA pengembangan, umur pakai TPA pengembangan terhitung selama 6 tahun (2025-2030).

3.3 Analisis Metan yang Dihasilkan

Perhitungan total gas yang dihasilkan dengan menggunakan *software* LandGEM-v302 menghasilkan total produksi emisi gas TPA yang terdiri dari *landfill* gas, gas CH₄, CO₂ dan senyawa organik non-metana dari tahun 2025 sampai 2030, tampilan menu utama *software* LandGEM seperti pada **Gambar 1**.

LANDFILL CHARACTERISTICS			WASTE ACCEPTANCE RATES		
Landfill Open Year	2025		Year	(Mg/year)	(short tons/year)
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030		2025	27.283	30.012
Actual Closure Year (without limit)	2030		2026	27.743	30.517
Have Model Calculate Closure Year?	No		2027	28.107	30.918
Waste Design Capacity		megagrams	2028	28.471	31.319
			2029	28.836	31.719
			2030	29.200	32.120
MODEL PARAMETERS			2031	0	0
Methane Generation Rate, k	0,050	year ⁻¹	2032	0	0
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	170	m ³ /Mg	2033	0	0
NMOC Concentration	4.000	ppmv as hexane	2034	0	0
Methane Content	50	% by volume	2035	0	0
GASES / POLLUTANTS SELECTED			2036	0	0
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas		2037	0	0
Gas / Pollutant #2:	Methane		2038	0	0
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide		2039	0	0

Gambar 1. Tampilan *Input Review Software* LandGEM-v302



Gambar 2. Grafik Total Produksi Gas Per Tahun

Model perhitungan menggunakan parameter CAA Conventional (default) dimana data sampah menghasilkan besaran produksi *Landfill Gas* pada tahun 2031 sebesar 2.502.600,06 m³/tahun.

Besaran produksi gas yang dihasilkan selama beberapa tahun kedepan dapat dilihat pada **Gambar 2.**

Tabel 6. Gas *Landfill* yang Dihasilkan

Year	Total <i>Landfill</i> Gas		<i>Methane</i>	
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
2025	0	0	0	0
2026	566,40	453.546,82	151,29	226.773,41
2027	1.114,71	892.606,57	297,75	446.303,28
2028	1.643,84	1.316.310,96	439,09	658.155,48
2029	2.154,73	1.725.408,88	575,55	862.704,44
2030	2.648,27	2.120.612,71	707,38	1.060.306,35
2031	3.125,31	2.502.600,06	834,80	1.251.300,03

Perhitungan untuk mencari gas metana yang dapat dihasilkan pada tahun 2031, dengan nilai $k = 0,05$ dan $Lo = 170$, didapatkan nilai Q_{CH_4} sebesar = 1.251.300,03 m³/tahun.

Dari gas metana (CH₄) yang dihasilkan dapat dikonversikan ke energi listriknya yaitu setiap 1 m³ gas metan (CH₄) setara dengan 11,17 Kw (Monica,2016).

$$Q_{CH_4 2031} = 1.251.300,03 \text{ m}^3/\text{tahun} \times \frac{1 \text{ tahun}}{8760 \text{ Jam}} = 142,84 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$Q_{CH_4 2031} = 142,84 \text{ m}^3/\text{jam} \times 11,17 \text{ kWh} = 1.595,55 \text{ kWh}$$

Tabel 7. Konversi metan ke energi listrik

Tahun	Metana (m ³ /tahun)	Energi Listrik (kWh)
2025	0	0
2026	226.773,41	289,16
2027	446.303,28	569,09
2028	658.155,48	839,22
2029	862.704,44	1.100,05
2030	1.060.306,35	1.352,01
2031	1.251.300,03	1.595,55

4. Kesimpulan

Dari Proyeksi yang dilakukan dengan melakukan kajian potensi pemanfaatan sampah di TPA Tualang, maka dapat disimpulkan.

1. Hasil perhitungan dengan metode *sanitary landfill* pada tahun 2031 adalah 1.595 kWh, gas metan yang dihasilkan dengan model *Landfill Gas Emissions Model* (LandGEM).
2. Sampah di TPA Tualang dapat dimanfaatkan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan puncak energi listrik yang di dihasilkan di tahun 2031 adalah 1.595,55 kWh.

5. Daftar Rujukan

- Azka, Umar. 2017. Program Pengelolaan Emisi Gas Rumah Kaca Di TPA Benowo. Departemen Teknik Lingkungan. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Siak. 2021. Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (DIKPLHD) Kabupaten Siak, Siak.
- Herlambang, Arie, Sutanto, Henky, dan Wibowo, Kusno. 2010. Produksi Gas Metana Dari Pengelolaan Sampah Perkotaan Dengan Sistem Sel. J. Tek. Ling, 11(3): 389-399.
- Monice, 2016. Analisis Potensi Sampah sebagai bahan baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTsa) di Pekanbaru. Jurnal Sainetin Universitas Lancang Kuning. Pekanbaru 2016.
- Monice. 2018. Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di TPA Muara Fajar Pekanbaru. <http://joernal.umsb.ac.id/index.php/RANGTEKNIKJOURNAL>. Vol. I No.2 Juni 2018.
- Rudina, Fildzah. 2017. Fenomena Degradasi Sampah Organik Terhadap Stabilitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA). Jurnal Teknik Lingkungan Volume 23 Nomor 1, April 2017 (Hal 69 - 77).
- Tchobanoglous, George., Teisen Hilary., Eliassen. 1993. Integrated Solid Waste Management, Mc. Graw Hill: Kogakusha, Ltd.
- Tchobanoglous, G. dan Kreith, F. 2002. *Handbook of Solid Waste Management Second Edition*. Mc Graw Hill, Inc: Singapore.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah.
- US EPA. 2005. *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. [Online] Tersedia di <http://www.epa.gov/ttn/catc1/dir1/landgem-v302-guide.pdf> [diakses pada 29 Desember 2022].