

Estimasi Produksi Gas Metana Untuk Pemanfaatan Sebagai Sumber Energi Di TPA Talang Gulo, Jambi

Fitrico Sinaga^{1*}, Dompok MT Napitupulu², Hutwan Syarifuddin³

¹ Mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan

^{2,3} Magister Ilmu Lingkungan Fakultas Pascasarjana Universitas Jambi

*e-mail: fitrico20@gmail.com

Abstrak. Tempat pemrosesan akhir sampah (TPA) merupakan salah satu sumber emisi metana yang signifikan ke atmosfer. Di Indonesia, estimasi produksi gas metana dari suatu TPA belum banyak dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah mengukur produksi serta mengukur jumlah konsentrasi gas metana yang teremisikan ke atmosfer, menilai emisi gas metana sebagai sumber energi, dan menganalisis biaya dan manfaat potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari emisi gas metana di TPA Talang Gulo. Data emisi yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan analisis untuk membuat proyek pembangunan sistem pengolahan gas dari TPA. Pendekatan dalam estimasi ini dilakukan dengan tiga cara, yaitu prediksi dengan perangkat lunak *LandGEM-v302*, pengukuran lapangan dengan fluks metana dan pemanfaatan produksi gas metana sebagai sumber energi. Hasil simulasi *LandGEM-v302* diperoleh total *landfill* gas TPA sebesar 29,96 Gg/tahun yang terdiri dari CH₄ sebesar 8,002 Gg/tahun, CO₂ sebesar 21,96 Gg/tahun dan NMOC (senyawa organik bukan metan) sebesar 0,344 Gg/tahun. Hasil pengukuran lapangan di permukaan TPA dengan *closed chamber* diperoleh emisi CH₄ TPA Talang Gulo sebesar 4,75 Mg/tahun. Perbedaan karakteristik pada permukaan TPA sangat mempengaruhi emisi gas yang dilepaskan ke atmosfer. Kondisi kelembapan atau kadar air dalam sampah juga mempengaruhi laju emisi metana. Potensi listrik dari gas metana sebesar 15,718 MW sehingga analisis manfaat biaya didapatkan NPV sebesar Rp. 6.028.622.852,18, Net B/C Ratio sebesar 0,00196 dan IRR sebesar 2,445%.

Kata kunci : Emisi Gas, pemanfaatan gas, *LandGEM-v302*, *closed chamber*, TPA.

Abstract. Landfills (TPA) are a significant source of methane emissions into the atmosphere. In Indonesia, the estimation of methane gas production from a landfill has not been widely carried out. The purpose of this research is to measure production and measure the concentration of methane gas emitted into the atmosphere, assess methane gas emissions as an energy source, and analyze the potential costs and benefits of electrical energy that can be generated from methane gas emissions at the Talang Gulo TPA. The emission data obtained can be used as material for analysis to create a project for developing a gas processing system from a landfill. This estimation approach is carried out in three ways, namely prediction with *LandGEM-v302* software, field measurements with methane flux and utilization of methane gas production as an energy source. The *LandGEM-v302* simulation results obtained a total landfill gas of 29.96 Gg/year consisting of CH₄ of 8.002 Gg/year, CO₂ of 21.96 Gg/year and NMOC (non-methane organic compounds) of 0.344 Gg/year. The results of field measurements on the surface of the closed chamber TPA obtained CH₄ emissions from TPA Talang Gulo of 4.75 Mg/year. The different characteristics of the landfill surface greatly affect the gas emissions released into the atmosphere. Moisture conditions or water content in the waste also affect the methane emission rate. The electricity potential from methane gas is 15.718 MW so that the cost benefit analysis shows an NPV of Rp. 6,028,622,852.18, B/C Ratio of 0.00196 and IRR of 2.445%.

Keywords : Gas emissions, gas utilization, *LandGEM-v302*, *closed chamber*, TPA.

1. Pendahuluan

Aktivitas manusia telah menyebabkan akumulasi gas rumah kaca di lingkungan yang mengakibatkan kerusakan lingkungan yang dihadapi saat ini. Hal ini telah memicu kekhawatiran badan publik dan swasta untuk terlibat dalam proses pengelolaan lingkungan (Johari et al., 2012). Indonesia telah menetapkan strategi perencanaan menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 29% dari kegiatan penghasil

gas rumah kaca terutama di bidang limbah sampai periode tahun 2030 (RAN-GRK, 2020) yang sebelumnya 26% sampai periode 2020. Sektor persampahan yang memainkan peran penting dalam mitigasi perubahan iklim sebagian besar terabaikan (Ragobnig dan Hilger, 2008).

Tempat pemrosesan akhir sampah dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan seperti, menimbulkan gas emisi rumah kaca, kontaminasi tanah, dan pencemaran

air tanah (Niskanen et al., 2012). Kandungan *landfill* gas yaitu CH₄ dan CO₂ tersebut merupakan penyebab efek rumah kaca dan pemanasan global. Konsentrasi CH₄ dalam *landfill* gas memang relatif rendah, namun CH₄ menyebabkan efek rumah kaca 21 kali lebih besar daripada CO₂ (Inventarisasi GRK, Kementerian ESDM, 2018).

Metode pengolahan sampah di TPA menggunakan teknologi lahan urug saniter (*sanitary landfill*), akan menghasilkan lebih banyak gas metana karena timbunan sampah tertutup oleh tanah serta TPA dilengkapi dengan sistem tangkapan gas *landfill* (Tchobanoglous, 2002). Maka perlunya pengukuran konsentrasi gas metana yang teremisikan ke atmosfer. Pengukuran emisi gas metana dan prediksi gas metana seperti model *LandGEM* berguna untuk mengevaluasi tindakan pengendalian gas *landfill* dan meningkatkan perkiraan emisi gas metana yang berguna untuk inventarisasi gas rumah kaca (Foster-Wittig et al., 2015; US EPA, 2005). Emisi gas *landfill* tersebut kaya akan metana yang harus digunakan untuk menghasilkan energi dan panas (Mostbauer et al., 2014).

TPA Talang Gulo berdiri dan beroperasi sejak tahun 1997 yang berjarak 16 km dari pusat Kota Jambi, dengan luas lahan 31,3 Ha terdiri dari lahan existing (lama) 10 Ha dan 21,3 Ha lahan khusus peruntukan TPAs Sanitary *Landfill* dari KFW Jerman. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi, potensi timbunan sampah pada tahun 2017 dengan jumlah penduduk 591.340 jiwa mencapai 151.087,34 ton/tahun. Tahun 2018 dengan jumlah penduduk 597.253 jiwa mencapai 152.598,24 ton/tahun. Pada tahun 2019 dengan jumlah penduduk 604.923 jiwa mencapai 154.577,83 ton/tahun, dan pada tahun 2020 dengan jumlah penduduk 610.972 jiwa mencapai 156.103,35 ton/tahun. Dengan demikian seiring berjalannya waktu, jumlah penduduk semakin bertambah semakin berdampak terhadap peningkatan timbunan sampah yang dihasilkan. Sampah yang masuk ke TPA Talang Gulo tahun 2019 sebesar 115.918,37 ton/tahun, dalam tiap harinya TPA menampung sebesar 317,585 ton/hari sampah. Pada tahun 2020 TPA Talang Gulo telah melakukan pemanfaatan gas metana menjadi sumber energi panas dengan sistem perpipaan ke 50 kk disekitar TPA.

Untuk menjaga kestabilan akan kebutuhan energi perlunya potensi pengelolaan limbah padat sebagai sebagai sumber energi terbarukan yang penting di masa depan yang layak secara

ekonomi dan ramah lingkungan (Bajic et al., 2015). Dalam periode pemanfaatan gas metana sebagai sumber energi alternatif, perlu dilakukan suatu pengukuran gas metana yang terdapat di TPA Talang Gulo sebagai kegiatan inventarisasi yang belum pernah dilakukan oleh TPA Talang Gulo serta potensi prospektif dari sampah yang ditumpuk di TPA ini yang juga berarti pertumbuhan potensi gas yang dihasilkan dan jika tidak dimanfaatkan dapat mengakibatkan gangguan terhadap lingkungan sekitar dan global. Oleh karenanya perlu dimanfaatkan secara positif, supaya optimal maka perlu dikaji atau dianalisis berapa potensi gas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar oleh masyarakat sekitar. Tujuan penelitian ini adalah: 1. Mengukur produksi gas metana TPA Talang Gulo dan mengukur jumlah konsentrasi gas metana yang teremisikan ke atmosfer; 2. Menilai emisi gas metana sebagai sumber energi; dan 3. Menganalisis biaya dan manfaat potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari emisi gas metana TPA Talang Gulo.

2. Metode

2.1. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif yang dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Penelitian deskriptif kuantitatif merupakan usaha sadar dan sistematis untuk memberikan jawaban terhadap suatu masalah dan/atau mendapatkan informasi lebih mendalam dan luas terhadap suatu fenomena dengan menggunakan tahap-tahap penelitian kuantitatif (Yusuf, 2013). Penelitian ini memfokuskan diri dalam mengetahui jumlah produksi gas metana yang dihasilkan dari TPA Talang Gulo. Jumlah produksi gas metana dapat diketahui melalui dua cara diantaranya dengan menggunakan model dari US-EPA bernama *LandGEM* (*Landfill Gas Emission Model*) dan menggunakan pengukuran lapangan dengan menggunakan sungkup tertutup (*closed chamber*) untuk pengambilan sampel gas metana serta dianalisis menggunakan alat *Gas Chromatography*. Alasan pemilihan lokasi TPA Talang Gulo adalah TPA tersebut menjadi satu – satunya TPA yang berlokasi di Kota Jambi yang telah menggunakan metode *sanitary landfill*.

2.2. Metode Analisis Penelitian

Untuk mendapatkan tujuan yang telah ditetapkan dan berdasarkan sasaran penelitian,

maka penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan.

2.1.1. Mengukur produksi gas metana TPA Talang Gulo serta mengukur jumlah konsentrasi gas metana yang teremisikan ke atmosfer

2.1.1.1. Mengukur produksi gas metana TPA Talang Gulo

Pada tahap penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah produksi gas metana dengan menggunakan perangkat lunak LandGEM-Version 3.02 (*Landfill Gas Emission Model* version 3.02) yang diperoleh dari website US-EPA. Parameter model untuk kebutuhan analisis dalam LandGEM menggunakan pilihan standar yang telah disediakan oleh perangkat lunak LandGEM-v302 dan disesuaikan dengan kondisi penelitian.

2.1.1.2. Mengukur jumlah konsentrasi gas metana yang teremisikan ke atmosfer

Pada tahap penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah konsentrasi gas metana yang teremisikan ke atmosfer dengan menggunakan rangkaian alat pada pengukuran lapangan dan dilakukan analisis di Laboratorium Gas Rumah Kaca Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Jambi. Pelaksana penelitian pada tahap ini, dengan menggunakan closed chamber untuk mendapatkan sampel gas metana yang akan dianalisis di Laboratorium BPTP Jambi.

2.1.2. Menilai emisi gas metana sebagai sumber energi

Pemanfaatan gas metana berkaitan dengan kemampuan produksi gas metana sebagai sumber energi serta kemampuan cakupannya untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif untuk masyarakat sekitar TPA Talang Gulo. Kuantitas produksi gas metana yang dihasilkan oleh TPA secara pengukuran langsung dan menggunakan perangkat lunak LandGEM (*Landfill Gas Emission Model*). Diperkirakan energi 1 m³ gas *landfill* yang mengandung 50% metana yang sama dengan 1 m³ biogas yang setara dengan 0,46 kg LPG sesuai pada Tabel 2.3 tentang kesetaraan biogas dengan berbagai sumber energi (Sucipto, 2012). Dengan diketahui jumlah produksi gas metana di TPA Talang Gulo maka dapat ditentukan jumlah cakupan gas metana yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif bagi masyarakat sekitar TPA Talang Gulo.

2.1.3. Menganalisis biaya dan manfaat potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari emisi gas metana TPA Talang Gulo

Tujuan ketiga dalam penelitian ini menggunakan alat analisis kelayakan investasi yaitu NPV, Net B/C Ratio dan IRR untuk melihat kelayakan dari potensi emisi gas metana menjadi energi terbarukan di tempat penelitian.

NVP merupakan nilai sekarang (*Present Value*) dari selisih antara *benefit* (manfaat) dengan *cost* (biaya) pada *discount rate* tertentu. NVP menunjukkan kelebihan *benefit* dibandingkan *cost*. Apabila seandainya *present value benefit* lebih besar daripada *present value biaya*, berarti proyek tersebut layak atau menguntungkan. Cara menghitung NPV adalah sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{NB_i}{(1+i)^t}$$

Keterangan:

NPV = Net Present Value (Rp.)

NB_i = net benefit = benefit – cost

t = tahun

i = tingkat bunga

Net B/C Ratio bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara *net benefit* yang telah di *compound* positif (+) dengan *net benefit* yang telah di *compound* negatif (-). Rumus Net B/C Ratio adalah sebagai berikut:

$$\text{Net B/C Ratio} = \frac{\sum_{i=1}^t \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}}{\sum_{i=1}^t \frac{C_t - B_t}{(1+i)^t}}$$

Keterangan:

Net B/C = Net Benefit Cost Ratio

B_t = Penerimaan bersih tahun t

C_t = Biaya pada tahun t

i = Tingkat bunga

t = Tahun (waktu ekonomis)

Internal Rate of Return merupakan suatu tingkat bunga yang menggambarkan nilai bersih sekarang (NPV) sama dengan jumlah seluruh investasi proyek atau dengan kata lain tingkat bunga yang menghasilkan NPV sama dengan nol, digunakan bertujuan untuk mencari tingkat bunga yang mengamankan nilai sekarang dari arus kas yang diharapkan dimasa mendatang dengan mengeluarkan investasi awal (Kadariah, 2001). Formula IRR ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$IRR = i + \frac{NPV1}{(NPV1 - NPV2)}(i_2 - i_1)$$

Keterangan:

- i_1 = Interest rate yang menghasilkan NPV₁
 i_2 = Interest rate yang menghasilkan NPV₂
 NPV₁ = NPV positif
 NPV₂ = NPV negative

3. Hasil dan Pembahasan

Kota Jambi adalah ibukota provinsi Jambi, secara geografis posisi Kota Jambi berada pada: 1°30'2,98"-1°40'1,07" Lintang Selatan dan 103°40'1,67"-103°40'0,22" Bujur Timur serta mempunyai ketinggian rata-rata minimal 10 sampai 60 meter di atas permukaan laut. Kota Jambi memiliki luas administratif 205,38 Km², terdiri atas 11 kecamatan, 64 kelurahan. Kota Jambi merupakan pusat pemerintahan dan perekonomian di Provinsi Jambi, dan hal ini tentu berimbas pada kepadatan penduduknya. Kota Jambi memiliki kepadatan penduduk tertinggi dibanding dengan Kota/Kabupaten lain dalam provinsi yaitu sebesar 2.952 jiwa/km². Dibawah ini tabel 1 jumlah penduduk Kota Jambi menurut jenis kelamin selama 5 tahun terakhir.

Tabel 1. Jumlah penduduk Kota Jambi 2016-2020

Tahun	Jumlah Penduduk Sesuai Jenis Kelamin (Jiwa)		Jumlah Total (Jiwa)	Rasio Jenis Kelamin
	Laki-Laki	Perempuan		
2016	293.217	290.270	583.487	101,01
2017	297.036	294.098	591.134	101,00
2018	300.566	297.537	598.103	101,02
2019	303.818	300.920	604.738	100,96
2020	305.407	300.793	606.200	101,53

Sumber: BPS Kota Jambi, 2021

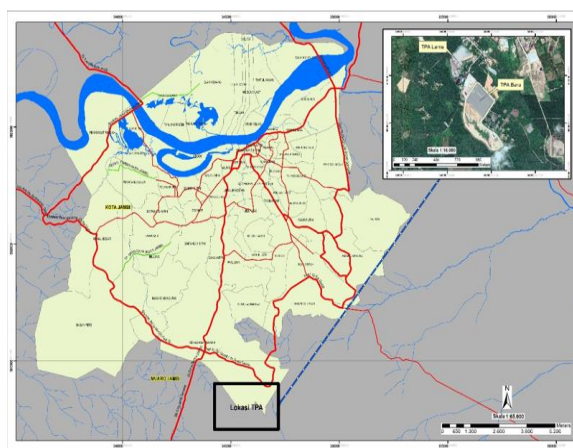
Pertambahan jumlah penduduk setiap tahunnya mempengaruhi berbagai aktivitas perekonomian. Sektor rumah tangga, industri hingga pusat perbelanjaan pun menghasilkan buangan berupa sampah. Secara parsial, rekapitulasi timbulan sampah dan sampah yang terangkut di Kota Jambi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Timbulan sampah Kota Jambi 2016-2020

No.	Uraian	2016	2017	2018	2019	2020
		m ³ /hari	m ³ /hari	m ³ /hari	m ³ /hari	m ³ /hari
1.	Jumlah sampah yang ditimbun di TPA	928,27	940,77	950,18	962,38	972,00
2.	Jumlah produksi sampah	1.238,70	1.254,36	1.266,90	1.283,17	1.296,00
3.	Presentase sampah ditimbun di TPA	74,94	75,00	75,00	75,00	75,00

Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi, 2021.

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Talang Gulo berdiri sejak tahun 1997 dan berlokasi di Jalan Kebersihan (jalan Talang Gulo), RT.04 Kelurahan Kenali Asam Bawah, Kecamatan Kota Baru, Kota Jambi, Provinsi Jambi. Lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) berjarak sekitar 15 Km dari pusat kota sedang koordinat lokasi ini adalah 1°41'18,6" Lintang Selatan dan 103°37'6,54" Bujur Timur. Elevasi lokasi +38,25 m hingga +49 m di atas permukaan laut. TPA Talang Gulo memiliki luas dengan dengan luas lahan 31,3 Ha yang terdiri dari lahan existing (lama) 10 Ha dengan metode *open dumping* dan 21,3 Ha lahan khusus peruntukan TPAs Sanitary Landfill dari KFW Jerman.



Gambar 1. Lokasi TPA Talang Gulo Kota Jambi

3.1. Mengukur Produksi Gas Metana TPA Talang Gulo serta Mengukur Jumlah Konsentrasi Gas Metana yang Teremisikan ke Atmosfer

3.1.1. Hasil Prediksi Timbulan Landfill Gas dan Emisi Metana dengan LandGEM-v302

Input data pada LandGEM memiliki beberapa tahapan perhitungan dan pengumpulan data antara lain: data tahun awal TPA beroperasi, tahun TPA tutup, data proyeksi timbulan sampah TPA, pemilihan parameter default, tahap perhitungan kemudian didapatkan hasil beserta grafiknya.

Data timbulan sampah tahunan yang dimiliki Dinas Lingkungan Hidup UPTD TPA Talang Gulo merupakan pencatatan timbulan sampah yang masuk ke TPA setiap harinya dengan menggunakan jembatan timbang serta tersedianya data perhitungan konsultan dalam penyusunan DED Persampahan. Data timbulan

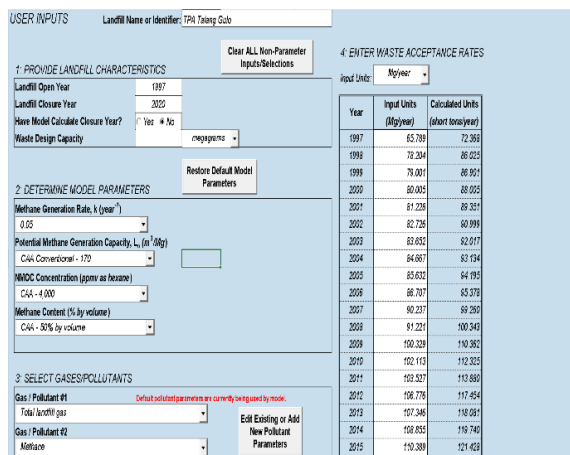
sampah yang tersaji merupakan sampah yang telah ditimbun di TPA Talang Gulo sejak tahun 1997 sampai dengan 2020 yang terbagi dalam beberapa zonasi penimbunan yang terdapat di TPA Talang Gulo. Data timbulan sampah yang terdapat di TPA Talang Gulo tersaji dalam Tabel 3.

Tabel 3. Data timbulan sampah di TPA Talang Gulo

Tahun	Timbulan Sampah	Sampah yang masuk di TPA Talang Gulo
	ton/tahun	ton/tahun
1997	87.718,77	65.789,08
1998	104.272,36	78.204,27
1999	105.334,99	79.001,24
2000	106.673,04	80.004,78
2001	108.304,15	81.228,11
2002	110.301,65	82.726,24
2003	111.535,71	83.651,79
2004	112.889,35	84.667,02
2005	114.176,31	85.632,23
2006	115.609,92	86.707,44
2007	120.315,46	90.236,60
2008	121.627,71	91.220,78
2009	133.772,65	100.329,48
2010	136.151,10	102.113,32
2011	138.035,92	103.526,94
2012	142.368,43	106.776,32
2013	143.128,03	107.346,03
2014	145.139,84	108.854,88
2015	147.185,12	110.388,84
2016	149.080,93	111.810,70
2017	151.087,37	113.315,53
2018	152.598,14	114.448,61
2019	154.557,83	115.918,37
2020	156.103,40	117.077,55

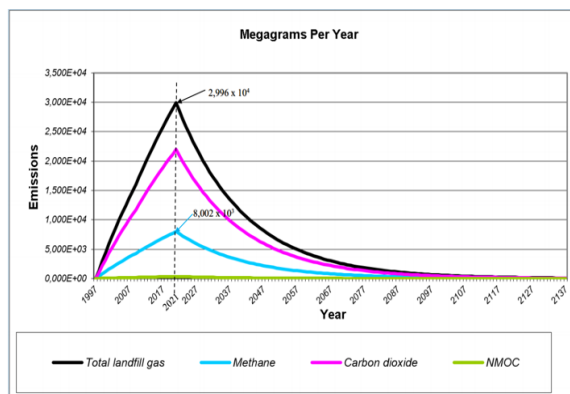
Sumber: Dinas Lingkungan Hidup Kota Jambi, 2021

Karakteristik sampah yang masuk ke TPA penting untuk dipertimbangkan terlebih saat memilih teknologi pengolahan sampah menjadi energi. Teknologi pengolahan sampah menjadi energi dengan melakukan proses secara biologi perlunya memperhatikan kandungan sampah organik yang tinggi seperti makanan, sayuran, sampah pasar, sampah hijau/kebun dengan kandungan kelembaban tinggi serta sensitif terhadap pH (Farley et al, 2015). Pada kolom ketiga berkaitan data timbulan sampah tahunan yang akan di input pada perangkat lunak LandGEM. Berdasarkan kondisi wilayah Kota Jambi dengan rata-rata temperatur 28°C – 30°C dan curah hujan tinggi, maka parameter default yang digunakan adalah Default CAA-Konvensional, untuk input default model LandGEM-v302 default CAA-Konvensional tersaji pada gambar 2.



Gambar 2. Input default model LandGEM-v302 default CAA-Konvensional

Perangkat lunak *LandGEM-v302* menghitung bahwa sampah yang ditimbun di TPA pada tahun dimulai operasi penimbunan akan menghasilkan landfill gas pada tahun-tahun berikutnya (Wahyono, 2014). Sejak tahun 1997, TPA Talang Gulo telah melakukan penimbunan sampah sehingga, timbulan landfill gas pada tahun 1997 belum terbentuk. Selanjutnya produksi landfill gas terhitung pada tahun-tahun berikutnya yaitu 1998 dan seterusnya sampai 22 tahun setelah TPA berhenti beroperasi. Hal tersebut sesuai dengan grafik perangkat lunak *LandGEM-v302* yang tersaji dalam gambar 4.3.



Gambar 3. Timbulan Landfill Gas TPA Talang Gulo

Simulasi prediksi potensi emisi TPA Talang Gulo dengan perangkat lunak LandGEM-v302 menghasilkan emisi total landfill gas TPA yang terdiri dari metana, karbondioksida dan senyawa organik non metana dari tahun 1998 sampai dengan tahun 2137 (Gambar 4.3). Total landfill gas dan metana dari tahun 1998 meningkat sampai tahun 2020 dan mengalami nilai puncak (*peak*) pada

tahun 2021 yaitu sebesar $2,996 \times 10^4$ Mg/tahun untuk total landfill gas, dan emisi metana yang dihasilkan sebesar $8,002 \times 10^3$ Mg/tahun. Emisi meningkat sebanding dengan jumlah massa sampah yang masuk ke TPA Talang Gulo. Selanjutnya, setelah tahun 2021 landfill gas akan mengalami penurunan dari tahun ke tahun. Hasil perhitungan landfill gas pada tahun tertentu yaitu berasal dari potensi timbunan landfill gas dari sampah yang telah tertimbun pada tahun-tahun sebelumnya sehingga, terjadi reaksi kimia dengan bakteri (Wahyono, 2014). Komposisi sampah organik yang tinggi sangat baik untuk produksi gas serta mempengaruhi kecepatan pembusukan (Farley et al, 2015).

3.1.2. Hasil Pengukuran Emisi CH₄ di lapangan

Fluks metana adalah pengambilan sampel gas rumah kaca dengan menggunakan sungkup tertutup (*closed chamber*). Sungkup tertutup terbuat dari bahan polikarbonat/fiberglass, alumunium dan ada sungkup terbuat dari paralon. Sungkup dapat berbentuk balok, silinder, dan kotak. Sungkup berfungsi untuk menangkap contoh gas CH₄, dan CO₂ baik pada saluran maupun permukaan udara.

Pengukuran emisi CH₄ menggunakan metode closed chamber untuk menentukan fluks di permukaan TPA. Sampel gas yang mengandung CH₄ diperoleh dengan box sungkup/sungkup tertutup yang ditempatkan di atas permukaan TPA. Sampel yang dianalisis pada *Gas Chromatograph* (GC) menghasilkan nilai *peak* dan area CH₄ yang beragam untuk keempat daerah pengambilan sampel. Perhitungan luas spesifik TPA Talang Gulo dibuat menggunakan grid secara manual pada peta. Tahapan pengukuran dan perhitungan secara lengkap tercantum dalam lampiran.

Tabel 4. Contoh format tabel

Lokasi	mg/menit	mg/tahun	mg/tahun
A	3.090,83	$1,62 \times 10^9$	1,625
B	0	0	0
C	2.209,42	$1,16 \times 10^9$	1,161
D	3.732,46	$1,96 \times 10^9$	1,962
Total			4,748

Emisi CH₄ diperoleh berdasarkan nilai rata-rata fluks yang dikalikan dengan luas setiap lokasi pengukuran yang mewakilinya (Tabel 4.10). Total emisi CH₄ yang dihasilkan setelah digeneralisasi sebesar 4,75 Mg/tahun. Emisi

tertinggi berasal dari lokasi D sebagai lokasi pembuangan aktif sebesar 2,0 Mg/tahun yang menjadi sumber emisi CH₄ dominan di TPA Talang Gulo. Nilai rata-rata fluks CH₄ yang bertanda negatif yakni lokasi B tidak diperhitungkan sebagai emisi. Hal ini karena emisi merupakan besaran skalar dengan satuan Megagram per tahun yang hanya memiliki nilai dan tidak menunjukkan arah dari dinamika CH₄ tersebut. Lokasi A dan B adalah lokasi TPA baru yang didanai KfW Jerman dan merupakan kawasan zona I.

3.2. Menilai Emisi Gas Metana sebagai Sumber Energi

Hasil potensi produksi gas metana TPA Talang Gulo dengan perangkat lunak *LandGem-v302* pada tahun 2020 adalah sebesar $7,730 \times 10^3$ Mg/tahun $\approx 7.730,03$ Mg/tahun atau $1,159 \times 10^7$ m³/tahun $\approx 11.586.669,42$ m³/tahun. Dan untuk potensi produksi landfill gas (biogas) sebesar $2,894 \times 10^4$ Mg/tahun $\approx 28.939,41$ Mg/tahun atau $2,317 \times 10^7$ m³/tahun $\approx 23.173.338,84$ m³/tahun di tahun 2020.

Kesetaraan biogas dengan LPG = produksi biogas/tahun x 0,46 kg

$$= 23.173.338,84 \text{ m}^3/\text{tahun} \times 0,46 \text{ kg}$$

$$= 10.659.735,87 \text{ kg/tahun.}$$

Maka harga biogas per tahun =

$$10.659.735,87 \text{ kg} \times \text{Rp. } 6.000,- = \text{Rp. } 63.958.415.220,-$$

Prediksi estimasi gas metana yang dapat dihasilkan pada tahun 2020 dalam simulasi perangkat lunak *LandGEM-v302* Default CAA-Konvensional didapatkan nilai estimasi emisi gas metana sebesar $11.586.669,42$ m³/tahun. Berdasarkan Tabel 2.5 tentang konversi gas metana menjadi energi listrik (Sorensen, 2007 dalam Sulisty, 2010), nilai kesetaraan 1 m³ gas metana dengan energi listrik sebesar 9,39 kWh.

Kesetaraan gas metana ke energi listrik = produksi gas metana/jam x 9,39 kWh

$$= 1.322,68 \text{ m}^3/\text{jam} \times 9,39 \text{ kWh}$$

$$= 12.419,96 \text{ kWh} \approx 12,420 \text{ MWh.}$$

3.3. Menganalisis Biaya dan Manfaat Potensi Energi yang Dapat Dihasilkan dari Emisi Gas Metana TPA Talang Gulo

Diketahui bahwa total potensi energi listrik dari gas metana di TPA Talang Gulo sebesar 156.717,99 kWh atau 156,718 MWh. Berdasarkan data dari PT. PLN (2020) Tarif Listrik per kWh untuk pelanggan golongan rendah adalah Rp. 1.444,70 per kWh, apabila potensi gas metana di TPA Talang Gulo

dimanfaatkan maka akan menghasilkan potensi energi listrik yang bernilai sekitar Rp. 226.410.480,15,-

Setelah mengetahui potensi listrik yang didapatkan, maka dapat juga diketahui manfaat yang dihasilkan dari potensi energi listrik tersebut. Selain manfaat yang dihasilkan, dalam sebuah proyek juga memiliki biaya yang harus dikeluarkan dalam pembangunan, pengembangan, maupun pemeliharannya.

Berdasarkan perhitungan potensi kapasitas daya pembangkit PLTSa sebesar 156.717,988 kW, maka digunakan pembangkit listrik generator sinkron dengan spesifikasi, kecepatan putar : 1.500 Rpm, frekuensi : 50/60 Hz, kapasitas daya terpasang : 1.000 kVA, tingkat tegangan kerja : 220./240 V, tipe : AC tiga fasa.

- **Biaya Investasi**

Pada hasil penelitian, biaya yang dikeluarkan dalam membangun PLTSa meliputi biaya investasi alat serta biaya operasional pada tabel berikut.

Tabel 5. Biaya pembangunan PLTSa

Biaya Investasi			
Pengumpul Gas	Jumlah		
	(\$)	(Rp.)	
Biomass prep-yard	2.639.700	37.046.816.856	
Gasification section	1.837.000	25.781.339.760	
instalasi CHP Maximum Thermal			
Installed cost	9.217.350	129.360.714.228	
instalasi pembangkit			
Installed cost	N/A	N/A	
Biaya operasi dan perbaikan	1.377.000	19.325.478.960	
Total	15.071.050	211.514.349.804	

Sumber: U.S EPA Combine Heat and Power (CHP), 2007

Berdasarkan tabel 5, hasil penjumlahan biaya pengumpulan dan pengolahan gas dengan biaya instalasi PLTSa dengan menggunakan teknologi gasifikasi didapat total biaya investasi sebesar \$ 15.071.050. Jika dikonversi ke rupiah dengan kurs \$ 1 = Rp. 14.034,48 (Desember 2020), menjadi sebesar Rp. 211.514.349.804,00.

- **Net Present Value (NPV)**

Net present value (NPV) merupakan analisis yang sering digunakan dalam penilaian investasi karena mampu mengatasi kelemahan dari periode penilaian lain, yaitu memperhatikan nilai waktu dari uang (*time value of money*) (Haming, 2003). NPV sering digunakan dalam mengukur kelayakan suatu proyek yang akan dijalani serta menunjukkan kelebihan *benefit* (manfaat) di dibandingkan dengan *cost* (biaya).

Nilai NPV rata-rata usaha untuk proyek PLTSa dengan umur ekonomi 25 tahun adalah Rp. 6.028.622.852,18,-. Berdasarkan analisis kriteria NPV, usaha proyek pembangunan PLTSa di TPA Talang Gulo layak untuk diusahakan karena memiliki NPV lebih dari nol.

- **Net B/C Ratio**

Berdasarkan perhitungan analisis investasi menggunakan tingkat suku bunga 2,25%, sehingga diperoleh perhitungan keuntungan bersih (*net benefit*) selama 25 tahun dengan perhitungan disajikan pada Lampiran, dengan hasil analisis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Net B/C Ratio} &= \frac{\sum_{i=1}^t \text{NBi}(+)}{\sum_{i=1}^t \text{NBi}(-)} \\ &= \frac{6.028.622.852,18}{3.070.885.104.862} \\ &= 0,00196 \end{aligned}$$

Berdasarkan Lampiran hasil analisis finansial menunjukkan bahwa nilai Net B/C Ratio lebih besar dari 0 yaitu 0,00196, maka dapat dikatakan bahwa usaha untuk investasi pembangunan PLTSa di TPA Talang Gulo layak untuk diusahakan dari segi *benefit* (manfaat) tapi dari segi biaya (*cost*) harus dipikirkan kembali karena biaya investasi alat dan operasionalnya yang begitu tinggi.

- **IRR**

Pada pembahasan ini *internal rate of return* merupakan suatu tingkat *compound factor* yang menghasilkan *net present value* sama dengan nol. Hasil olah data menunjukkan nilai NPV negatif berada pada tingkat suku bunga 2,5% dengan nilai NPV sebesar Rp. 1.667.210.451,35 sedangkan nilai NPV positif pada tingkat suku bunga 2,4% dengan nilai NPV Rp. 1.368.156.521,42 dari hasil tersebut dapat dihitung besar nilai IRR sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{IRR} &= i + \frac{\text{NPV1}}{(\text{NPV1} - \text{NPV2})} (i_2 - i_1) \\ &= 2,4\% + \frac{1.368.156.521,42}{1.368.156.521,42 - (-1.667.210.451,35)} (2,5\% - 2,4\%) \\ &= 0,024 + (0,450) \times (0,001) \\ &= 0,02445 \\ &= 2,445\% \end{aligned}$$

Hasil perhitungan IRR diatas menunjukkan nilai IRR sebesar 2,445%, hal tersebut mengindikasikan bahwa nilai IRR lebih besar dari 1, maka dapat disimpulkan bahwa usaha investasi pembangunan PLTSa layak untuk diusahakan dilihat dari kriteria IRR.

4. Simpulan

1. Estimasi produksi metana di TPA Talang Gulo yang diperkirakan melalui dua pendekatan dengan perangkat lunak *LandGEM-v302* dan metode pengukuran lapangan fluks metana dengan teknik *closed chamber* menghasilkan nilai emisi yang berbeda. Estimasi emisi metana yang dihasilkan TPA Talang Gulo berdasarkan simulasi *LandGEM-v302* tahun 1997-2020 mencapai maksimum pada tahun 2021 sebesar 8,00 Gg/tahun, sedangkan emisi aktual pada pengukuran lapangan metode fluks metana dihasilkan emisi metana dari permukaan TPA sebesar 4,75 Mg/tahun.
2. Penilaian estimasi produksi gas metana yang dihasilkan di TPA Talang Gulo sebagai sumber energi bahan bakar sebesar 10.659.735,87 kg/tahun dan energi listrik sebesar 156.717,99 kWh.
3. Analisis kelayakan untuk membuat PLTSa bahwa TPA Talang Gulo memiliki total potensi listrik dari gas metana sebesar 156.717,99 kW = 15,718 MW dengan kapasitas PLTSa sebesar 1.000 kVA. Biaya investasi yang dibutuhkan untuk merealisasikan pembangkit listrik tenaga sampah di Kota Jambi sebesar Rp. 211.514.349.804. Net Present Value (NPV) = Rp. 6.028.622.852,18,-, Net B/C Ratio = 0,00196 dan Internal Rate of Return (IRR) = 2,445%. Dari aspek teknis dan ekonomi, potensi sampah di TPA Talang Gulo layak untuk diwujudkan sebagai pembangkit listrik tenaga sampah.

Daftar Pustaka

- Alexander A., Burklin C., Singleton A. 2005. Landfill Gas Emission Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. Washington DC: US-EPA.
- Aronica, S. Bonanno, A. Piazza, V. Pignato, L. Trapani, S. 2008. Estimation of biogas produced by the *landfill* of Palemo, applying a Gaussian model. Waste Management 29 (2009) 233-239.
- Badan Standarisasi Nasional. 1994. Metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan, SNI 19-3964-1994.
- Badan Standarisasi Nasional. 2002. Tata cara teknik operasional pengelolaan sampah perkotaan, SNI 19-2454-2002.
- Bajic, B.Z., Dodic, S.N., Vucurovic, D.G., Dodic, J.M., Grahovac, J.A. 2015. Waste to energy status in Serbia. Renewable Sustainable energy rev. 50, 1437-1444.
- Barlaz, M.A., Chanton, J.P., Green, R.B. 2009. Controls on *landfill* gas collection efficiency: intransient and life time performance. Journal Air Waste Management Assocoate 59 1399 – 1404.
- BMKG. 2021. Data Curah Hujan dan Hari Hujan Kota Jambi Tahun 2016-2020. Jambi: Stasiun Metereologi Sultan Thaha Jambi
- Bove, R. Lunghi, P. 2006 Electric power generation from *landfill* gas using traditional and innovative technologies. Energy Convers Management 2006;47: 1291 – 1401.
- BPK. 2021. LHP Kinerja Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga pada Pemerintah Kota Jambi. BPK Perwakilan Provinsi Jambi.
- BPS. 2021. Kota Jambi Dalam Angka 2021. Jambi: BPS Kota Jambi.
- Chusna, N.A. 2017. Estimasi produksi gas metana terhadap pemanfaatan sebagai sumber energi di TPA Bandengan, Jepara. Tesis. Semarang: Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Dace, E., Blumberga, D., Kuplaise, G., Bozko, L., Khabdullina, Z., Khabdullin, A. 2014. Optimization of *landfill* gas us in municipal solid waste *landfill* in Latvia. Energy Procedua 72 (2015) 293-299.
- Damanhuri, E. Padmi, T. 2008. Landfill Limbah. Fakultas Sipil dan Lingkungan – Institut Teknologi Bandung. Dit. Jenderal Tata

- Perkotaan dan Tata Pedesaan, Dep. Kimpraswil, 2003.
- Damanhuri, E., Padmi, T. 2010. Pengelolaan sampah. Bandung: Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- DKPP. 2016. Analisis dampak lingkungan hidup Rencana Kegiatan Pembangunan TPA Talang Gulo seluas 21,3 Ha. Jambi: DKPP Kota Jambi.
- DLH. 2021. Perhitungan konsultan: DED Persampahan TPA Talang Gulo. Jambi: DLH Kota Jambi.
- Fadli, D., Irsyad, M., Susila, MD. 2013. Kaji eksperimental sistem penyimpanan biogas dengan metode pengkompresian dan pendinginan pada tabung gas sebagai bahan bakar pengganti gas LPG. Jurnal FEMA Vol. 1 No. 4 Oktober 2013.
- Farley, D., Kahfi, D., Sitorus, G., Landon, N., Situmorang, V. 2015. Sampah menjadi Energi Buku Panduan. Jakarta: Kementerian Energi Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
- Foster-Wittig, T.A., Thoma, E., and Albertson, J.D. "Estimation of point source fugitive emission rates from a single sensor time series: A conditionally-sampled Gaussian plume reconstruction." *Atmospheric Environment* 115 (2015): 101-109.
- Gardner, N., Manley, B.J.W., Pearson, J.M. 1993. Gas emission from landfill and their contributions to global warming. *Applied Energy* 44 (1993) 165-174.
- Haming, M., dan Basalamah, S. 2003. Studi Kelayakan Investasi Proyek dan Bisnis. Jakarta: PPM.
- Herlambang, A. 2010. Peran teknologi dalam pengendalian pencemaran lingkungan hidup. *JRL*. Vol. 6 No. 2, Juli 2010: 131-137. ISSN: 2085-3866.
- Ibrahim, Y. 2009. Studi Kelayakan Bisnis. Jakarta: Rineka Cipta.
- Johari, A., Ahmed, S.I., Hashim, H., Alkali, H., Ramli, M. 2012. Economic and environmental benefit of landfill gas from municipal solid waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 2907-2912.
- Kadariah. 2001. Evaluasi Proyek: Analisa Ekonomi. Jakarta: Lembaga Penerbit FE-UI.
- Kadir, W. 2007. Analisa kelayakan finansial usaha pengolahan nira lontar menjadi produk nata. Balai Penelitian Hutan Penghasil Serat.
- Kalantarifard, A., Yang, G.S. 2012. Estimation of methane production by LANDGEM simulation model form Tanjung Langsat municipal solid waste landfill Malaysia. *International Journal of Science and Technology* Vol. 1 No. 9 ISSN: 2049-7318.
- Kasmir & Jakfar. 2012. Studi Kelayakan Bisnis. Cetakan ke Delapan Jakarta: Kencana.
- Karanjekar, R.V. 2012. An improved model for predicting methane emissions from landfill based on rainfall, ambient temperature, and waste composition. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2018. Pedoman Penghitungan dan Pelaporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2020. Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim.
- Khoirusyi, Y. 2020. Potensi produksi gas metana (CH₄) dari kegiatan landfilling di TPA Lempeni, Kabupaten Lumajang dengan permodelan LandGEM. Tugas Akhir. Surabaya: Universitas Islam Negeri Sunan Ampel.
- Khotimah, H. dan Sutiono. 2014. Analisis kelayakan finansial usahatani budidaya bambu. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, 8(1).
- Kumar, A., & Samadder, S. R. (2017). A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. *Waste management (New York, N.Y.)*, 69, 407-422. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046>
- Kumar, S., Nimchuk, N., Kumar, R., Zietsman, J., Ramani, T., Spiegel, C., Kenney, M. 2016. Specific model for the estimation of methane emission from municipal solid waste landfill in India. *Bio resource Technology* 216 (2016) 981-987.
- Lestari, L.I., Soemirat, J., Dirgawati, M. 2013. Penentuan Konsentrasi gas metana di udara Zona 4 TPA Sumur Batu Kota Bekasi. *Rekan Lingkungan Jurnal Institut Teknologi Nasional* No. 1 Vol. 1.
- Martono, D.H, 2006. Teknologi pemanfaatan gas dari TPA. Pengkajian Teknologi Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.

- Monice, P. 2018. Analisis Pemanfaatan Energi dari Pengelolaan Metode Landfill di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Muara Fajar.
[http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANG TEKNIKJURNAL](http://jurnal.umsb.ac.id/index.php/RANG_TEKNIKJURNAL) Vol. 1 No. 2, 216-220.
- Mostbauer, P., Lombardi, L., Olivieri, T., Lenz, S. (2013). Pilot scale evaluation of the BABIU process - Upgrading of landfill gas or biogas with the use of MSWI bottom ash. *Waste management* (New York, N.Y.). 34. 10.1016/j.wasman.2013.09.016.
- Mukono, H.J. 2008. Pencemaran udara dan pengaruhnya terhadap gangguan saluran pernafasan. Cetakan Ketiga. Airlangga University Press. Surabaya.
- Niskanen, A., Varri, H., Havukainen, J., Uusitalo, V., Horttanainen, M. 2012. Enhancing landfill gas recovery. *Journal of Cleaner Production* 55 (2013) 67-71.
- Peraturan Pemerintah Nomor. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga.
- Price dan Cheremisinoff. 1981. *Encyclopedia of chemical processing and design*. Vol. 1. New York.
- Purwanta, W. 2009. Penghitungan emisi gas rumah kaca (GRK) dari sector sampah perkotaan di Indonesia. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 10 No. 1: 1-08. ISSN:1441-318X.
- Ragobnig, A., Hilger, H 2008. Waste management: stepping up to the climate change challenge. *Waste management res.* 26 3-4.
- Rahma, R.A.A. 2014. Pengaruh paparan gas metana (CH₄), Karbondioksida (CO₂), dan Hidrogen Sulfide (H₂S) terhadap keluhan gangguan pernafasan pemulung di tempat pemrosesan akhir (TPA) sampah Klotok Kota Kediri. Tesis. Surakarta: Ilmu Lingkungan Universitas Sebelas Maret.
- Rarastry, A.D. 2016. Kontribusi sampah terhadap pemanasan global. Pusat Pengendalian Pembangunan Ekoregion (P3E).
- Saadiah, R. 2014. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi terbarukan pada pengelolaan sampah di TPA Sumpit Urang Kota Malang. Tesis. Semarang: Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro.
- Salamah, N., Zauhar, S., Ulum, M. 2015. Implementasi program pengelolaan sampah berwawasan lingkungan melalui pemanfaatan gas metana (Studi TPA Supit Urang Kota Malang). *Jurnal Administrasi Publik (JAP)*, Vol.3, No.5, Hal.818-823. Malang. Universitas Brawijaya.
- Santiabudi F. 2010. Kuantifikasi emisi metana dari TPA Galuga Cibungbulang Bogor Jawa Barat. Tesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sarudji, D dan Keman, S. 2010. Kesehatan lingkungan. CV. Karya Putra Darwati: Bandung.
- Scheehle E, Godwin D, Ottinger D, De Angelo B. 2006. Global antropogenic non-CO₂ greenhouse gas emissions: 1990-2020.
- Sorensen, B. 2007. *Renewable energy conversion, transmission and storage* (Third Edition ed.).
- Sucipto, C.D. 2012. *Teknologi pengolahan daur ulang sampah*. Yogyakarta: Gosyen Publishing.