

ANALISIS TINGKAT EMISI CO₂-eq DAN POTENSI ENERGI LISTRIK DARI LANDFILL GAS TPA 2 MUARA FAJAR KOTA PEKANBARU DENGAN PEMODELAN LANDGEM VERSION 3.02 (LANDFILL GAS EMISSIONS MODEL)

Betharia Nurmaida¹⁾, Aryo Sasmita²⁾, Jecky Asmura²⁾

¹⁾Mahasiswa Prodi Teknik Lingkungan ²⁾Dosen Teknik Lingkungan
Program Studi Teknik Lingkungan S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam,
Pekanbaru 28293

Email : betharianurmaida30@gmail.com

ABSTRACT

The population growth of Pekanbaru City that increased in every year is the main factor of the increasing waste that enters the MSWD 2 Muara Fajar, Pekanbaru City. The garbage piled up in landfills will have a process named degradation to produce methane gas (CH₄). This gas contributes to the global warming phenomenon but has the potential to be used as alternative energy. The purpose of this study to estimate the methane gas emissions from landfilling activities at MSWD 2 Muara Fajar with the LandGEM ver 3.02 software, and analyzes the potential energy that can be generated from methane gas. Based on the estimation results of LandGEM ver 3.02, total of methane gas emissions from MSWD 2 Muara Fajar reached the peak in 2049 with values are 23.110 Mg/year or 34.630.000 m³/year. The total level of CO₂-eq emissions from MSWD 2 Muara Fajar Pekanbaru City during the operation to closing (2018-2048) are 8,780,688 MgCO₂-eq. The total daily electricity power that can be produce from the methane are 1,322,547.09 kWh which is supplied the daily electricity needs of 237,608 households in Pekanbaru City.

Keywords: *Municipal Solid Waste Disposal, methane, LandGEM, energy potential*

1. PENDAHULUAN

Kota Pekanbaru merupakan ibu kota Provinsi Riau yang termasuk dalam kategori Kota Metropolitan dan memiliki jumlah penduduk sebesar 1.149.360 jiwa dengan laju pertumbuhan penduduk 2,86% pada tahun 2019 (Kota Pekanbaru dalam Angka, 2020). Besarnya jumlah penduduk tersebut akan berkontribusi terhadap timbunan sampah yang dihasilkan baik dari aktivitas domestik maupun non domestik sehingga memunculkan persoalan pelayanan prasarana perkotaan di bidang persampahan. Hal ini dibuktikan dengan data jumlah timbunan sampah harian yang dirilis oleh Direktorat PSLB3 (Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan melalui SIPSN (Sistem Informasi Pengelolaan

Sampah Nasional) untuk Kota Pekanbaru sebesar 745,20 ton/hari pada periode tahun 2017-2018.

Seluruh sampah yang dihasilkan dari aktivitas domestik dan non domestik di Kota Pekanbaru dengan luas daerah pelayanan 632,26 km² akan diangkut dan dibawa ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) 2 Muara Fajar. TPA 2 Muara Fajar memiliki luas lahan sekitar 11 Ha yang terdiri dari 6,12 Ha sebagai *landfill site*. Metode yang digunakan pada TPA ini dalam mengatasi permasalahan sampah yang ada di Kota Pekanbaru adalah *Sanitary Landfill*. Jumlah sampah yang ditimbun di TPA ini sebesar 365,23 ton/hari sedangkan jumlah sampah yang tidak terkelola sebesar 379,97 ton/hari untuk periode tahun 2017-2018 (Sistem Informasi Pengelolaan

Sampah Nasional, 2020). Pemerintah Kota Pekanbaru telah menyusun suatu kebijakan dibidang persampahan terkait pemanfaatan limbah padat kota sebagai sumber energi melalui Peraturan Daerah Kota Pekanbaru Nomor 08 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Sampah. Pada pasal 30 menyatakan bahwa pemanfaatan hasil pemrosesan sampah di TPA dikembangkan menjadi berbagai bentuk produk dan sumber energi terbarukan atau dalam bentuk manfaat lain yang ramah lingkungan.

Menurut IPCC (2006) sektor limbah berpotensi menyumbangkan gas rumah kaca ke atmosfer khususnya dari TPA sampah yang ada yaitu sebesar 3 – 4 % dari emisi gas rumah kaca global. Gas dari *landfill* secara tipikal mengandung 45% – 60% metan dan 40% – 60% karbondioksida. Sementara itu berdasarkan Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2018 oleh Direktorat Jenderal Perubahan Iklim, sektor limbah berada diposisi ke empat dalam kontribusinya menyumbang emisi gas rumah kaca sebesar 10% dengan total emisi 120.191 GgCO₂-eq, sedangkan untuk kategori limbah domestik (*Municipal Solid Waste*) sebagai kategori khusus disektor limbah berada diposisi ke dua dalam kontribusinya menyumbang emisi GRK sebesar 35.03% dengan total emisi 42.099 GgCO₂-eq.

Landfill dapat menghasilkan gas akibat terjadinya proses degradasi *anaerobic* dari sampah *biodegradable*. Komponen utama yang dihasilkan yaitu *methane* (CH₄) dan juga *carbondioxide* (CO₂). Metana (CH₄) lebih diperhatikan karena merupakan gas rumah kaca dan juga memiliki potensi kekuatan 21 kali lebih kuat dalam menyerap panas dibandingkan gas karbondioksida (CO₂) (Marten dan Newbold, 2012).

Peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan

menimbulkan masalah pemanasan global. Adanya peningkatan suhu global ini akan mempengaruhi proses fisik dan kimia yang ada baik di bumi maupun atmosfer dan pada akhirnya berdampak pada perubahan iklim. Maka dari itu pengertian perubahan iklim berdasarkan PermenLHK No.33 Tahun 2016 yaitu berubahnya iklim yang diakibatkan langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global dan selain itu juga berupa perubahan variabilitas iklim alamiah yang teramati pada kurun waktu yang dapat dibandingkan. Perubahan yang terjadi akibat fenomena ini diantaranya kenaikan tinggi muka air laut, perubahan pola angin, meningkatnya badai atmosferik, perubahan pola hujan atau siklus hidrologi dan lain-lain yang pada akhirnya akan berdampak pada ekosistem hutan, daratan, dan ekosistem alam lainnya (Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional KLHK, 2012).

Gas CH₄ merupakan salah satu gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap terjadinya fenomena pemanasan global. Konsentrasi gas CH₄ di atmosfer telah meningkat sekitar 0,6 % per tahun bahkan lebih dari dua kali lipat selama dua abad terakhir. Gas CH₄ merupakan komponen utama dari gas alam yang dapat menjadi sumber energi yang berharga. Oleh karena gas CH₄ adalah sumber energi dan juga sebagai komponen gas rumah kaca, maka mengurangi emisi gas CH₄ dari TPA secara ekonomi akan menguntungkan begitu juga terhadap lingkungan (Mark Orlic dan Tom Kerr, 1996).

Berdasarkan uraian data di atas maka fokus penelitian ini adalah menganalisis jumlah emisi *landfill gas* (CH₄) dari aktivitas pengurugan (*landfilling*) sampah di TPA 2 Muara Fajar dengan menggunakan pemodelan estimasi *landfill gas* dari US EPA, 2005 yaitu *LandGEM version 3.02 (Landfill Gas Emissions Model)*. Hasil analisis tingkat emisi gas metana kemudian dikonversikan

menjadi energi listrik sehingga dapat menjadi representasi kegiatan mitigasi perubahan iklim disektor persampahan Kota Pekanbaru.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat dan Instrumentasi

Alat dan instrumentasi yang digunakan pada penelitian ini antara lain : perangkat keras (*hardware*) berupa laptop serta *software LandGEM version 3.02* sebagai perangkat yang mengestimasi emisi CH₄ di TPA 2 Muara Fajar.

2.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berada di zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru.

2.3 Metode Pengumpulan Data

2.3.1 Pengumpulan Data Primer

Pengumpulan data primer dalam penelitian ini dilakukan dengan observasi ke TPA 2 Muara Fajar untuk mengetahui kondisi eksisting dari *landfill site* TPA tersebut. Adapun data primer dari penelitian ini berupa dokumentasi dari hasil observasi di TPA 2 Muara Fajar.

2.3.2 Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh melalui instansi-instansi terkait. Adapun data-data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini berupa :

1. Data jumlah sampah yang masuk ke TPA pada tahun 2011-2020 dari DLHK Kota Pekanbaru.
2. Data parameter model *LandGEM* dari *LandGEM ver 3.02 User's Guide* berupa nilai *methane generation rate* (k) dan kapasitas potensial timbulan gas metana (Lo).

2.4 Metode Pengolahan Data

2.4.1 Proyeksi Timbulan Sampah Kota Pekanbaru

Proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru dihitung berdasarkan data jembatan timbang (*weight volume analysis*) yang terdapat di TPA. Proyeksi dilakukan dalam kurun waktu umur operasi yang direncanakan pada DED yaitu selama 30

tahun. Oleh karena itu proyeksi dilakukan untuk tahun 2021 hingga 2048 mendatang. Proyeksi jumlah timbulan sampah Kota Pekanbaru dihitung menggunakan metode aritmatika.

2.4.2 Perhitungan Emisi Gas Metana Menggunakan Pemodelan *LandGEM ver 3.02*

Analisis emisi gas metana dilakukan pada keseluruhan zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru berdasarkan data input berupa tahun pembukaan TPA, tahun penutupan TPA, jumlah sampah masuk tahunan yang telah diproyeksikan beserta parameter model yang diperlukan untuk memprediksi timbulan gas metana di TPA. Adapun parameter model tersebut berupa konstanta laju timbulan gas metana (k), kapasitas potensi timbulan gas metana (Lo), karbon organik non metana (NMOC), dan persentase komposisi gas metana (%).

Identifikasi laju timbulan emisi gas metana di area *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru dianalisa dengan *spreadsheet LandGEM version 3.02*. Parameter model untuk kebutuhan analisis dalam *LandGEM* menggunakan pilihan standar yang telah disediakan oleh *LandGEM* dan disesuaikan dengan kondisi lokasi penelitian.

2.4.3 Perhitungan Tingkat Emisi CO₂ Ekuivalen Dari TPA 2 Muara Fajar

Setelah diperoleh hasil estimasi emisi CH₄ dari *LandGEM ver 3.02*, maka selanjutnya dilakukan konversi untuk memperoleh tingkat emisi CO₂ ekuivalen (CO₂-eq) sebagai satuan utama dari gas rumah kaca berdasarkan nilai GWP (*Global Warming Potential*) yang dimiliki oleh CH₄. Hal tersebut dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut (Peraturan Dirjen PPI No: P5/PPI/SET/KUM I/12/2017):

$$\text{Emisi CO}_2\text{-eq} = \frac{\text{Emisi CH}_4 \times \text{GWP}}{\text{gas CH}_4} \quad (1)$$

dimana :

Emisi CH₄ = Hasil estimasi, Mg

GWP CH₄ = 28 (IPCC AR5,2014)

2.4.4 Perhitungan Konversi Emisi Gas Metana Menjadi Energi Listrik

Gas metana yang diemisikan dari aktivitas *landfill* di TPA memiliki potensi menjadi energi listrik. Hal ini dikarenakan kandungan kalor yang terdapat pada gas tersebut.

Sehingga energi listrik yang dihasilkan dari gas metana dapat dihitung berdasarkan rumus berikut ini (Sorensen, 2007):

$$Pg = Q_{CH_4} (m^3/jam) \times Ho (kWh/m^3) \quad (2)$$

Keterangan :

Pg = Daya yang dihasilkan (kW)

Q_{CH_4} = gas CH₄ (m³/tahun) × 8760
(jam/tahun)

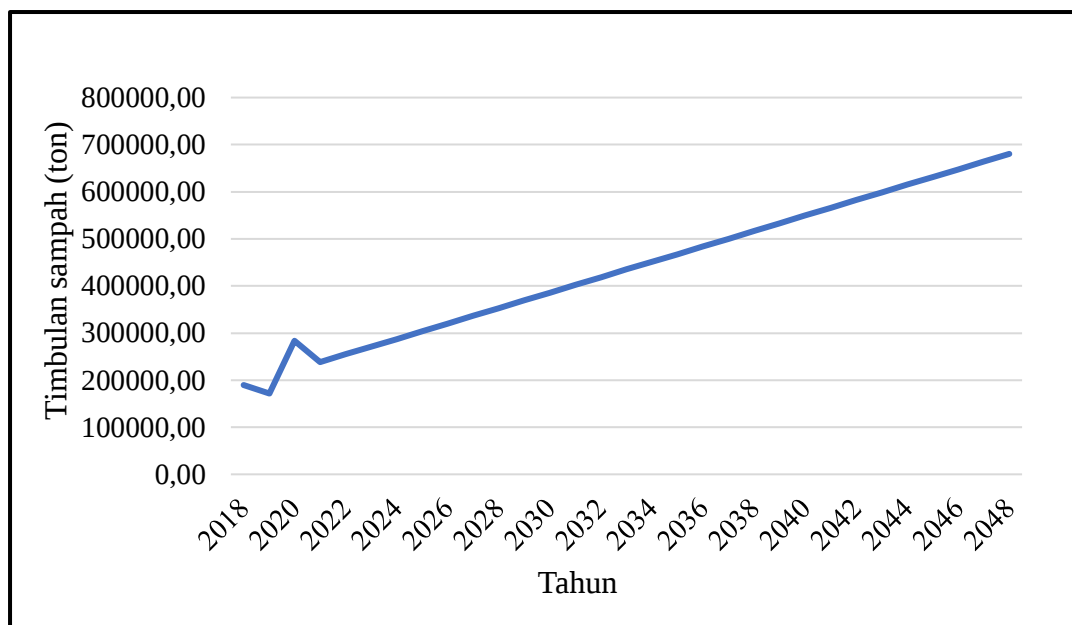
Ho = Faktor konversi volume gas metana (m³) ke satuan energi listrik (kWh) yaitu 9,39 kWh

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Proyeksi Timbulan Sampah

Kota Pekanbaru

Proyeksi timbulan sampah dihitung berdasarkan data timbulan sampah Kota Pekanbaru dalam kurun waktu 10 tahun yang lalu yaitu 2011-2020 dengan menggunakan metode proyeksi aritmatika. Hasil proyeksi yang diperoleh yaitu jumlah timbulan sampah Kota Pekanbaru untuk tahun 2021-2048 sesuai dengan batas umur rencana TPA pada DED nya. Berikut gambar 1 grafik proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru yang masuk ke TPA 2 Muara Fajar tahun 2018-2048.



Gambar 1. Grafik Timbulan Sampah Kota Pekanbaru Tahun 2018-2048

Data hasil proyeksi timbulan sampah Kota Pekanbaru tahun 2021-2048 ini akan diperlukan sebagai data input pada perhitungan emisi gas metana pada pemodelan *LandGEM* ver 3.02. Pada gambar 1 tersebut disertakan juga data jumlah sampah timbulan sampah Kota Pekanbaru dari tahun 2018 yaitu tahun awal beroperasinya TPA 2 Muara Fajar ini.

2.2 Analisis Emisi Gas Metana Menggunakan Pemodelan *LandGEM* ver 3.02

Analisis emisi gas metana dilakukan pada keseluruhan area *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru berdasarkan total sampah masuk pertahun selama tahun 2018 hingga 2048.

Adapun data *input LandGEM ver 3.02* disajikan pada Tabel 4.5. berikut:

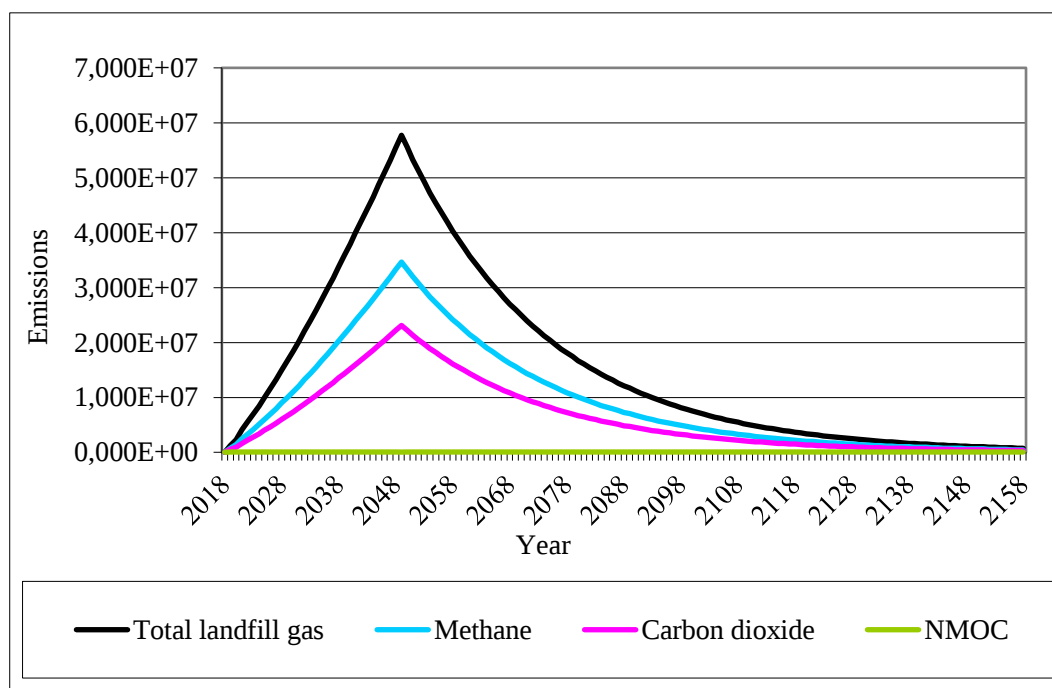
Tabel 1. Data *user input LandGEM version 3.02*

Karakteristik Landfill	
(Landfill open year)	: 2018
(Landfill closure year)	: 2048
Perhitungan tahun penutupan	: No
Parameter Model	
Konstanta <i>methane generation rate</i> (k)	: 0,04 per tahun (konvensional)
Kapasitas potensi timbunan metana (Lo)	: 100 m ³ /Mg (konvensional)
Karbon organik non metana (NMOC)	: Unknown
Persentase komposisi metana	: 60% by volume
Timbunan Sampah di TPA	
Timbunan sampah Kota Pekanbaru yang masuk ke TPA 2 Muara Fajar (2018-2048)	: Hasil proyeksi

Setelah seluruh data telah diisi pada *worksheet user's input* maka hasil estimasi berupa grafik pada gambar 2 di bawah ini.

Hasil estimasi gas metana yang dihasilkan oleh TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru untuk masa operasional 2018 hingga 2048 menunjukkan nilai total timbunan gas metana (CH₄) berada pada titik puncaknya pada tahun 2049 yaitu satu tahun setelah berakhirnya operasional TPA, sebesar 34.634.167 m³/tahun atau setara dengan 23.110 Mg/tahun.

LandGEM melakukan simulasi untuk emisi gas metana dimulai dari tahun penerimaan sampah atau mulainya TPA untuk beroperasi yaitu tahun 2018. Berdasarkan hasil simulasi oleh pemodelan *LandGEM*, total gas metana menurun signifikan mulai dari tahun 2050 dan berangsur habis pada tahun 2128 yang menunjukkan total gas metana sebesar 1.469.000 m³/tahun atau setara dengan 980,3 Mg/tahun.



Gambar 2. Grafik Timbunan Gas Metana TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru (m³/tahun)

Sumber: LandGEM version 3.02 oleh EPA, 2005

2.3 Penentuan Tingkat Emisi CO₂ ekivalen (CO₂-eq) dari Kegiatan Landfilling di TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru

Tingkat emisi CO₂-eq dari hasil estimasi emisi gas metana oleh pemodelan LandGEM ditentukan dengan menggunakan persamaan 1. Berikut tabel yang menyajikan data jumlah emisi gas metana (CH₄) dari hasil perhitungan LandGEM beserta tingkat emisi CO₂-eq selama TPA 2 Muara Fajar beroperasi (2018-2048).

Tabel 2. Tingkat Emisi CO₂-eq dari TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru

Tahun	Emisi Gas Metana (CH ₄)	
	<i>LandGEM ver 3.02</i>	
	Berat (Mg/tahun)	MgCO ₂ -eq
2018	0	0
2019	496	13.888
2020	926	25.928
2021	1.633	45.724
2022	2.194	61.432
2023	2.775	77.700
2024	3.377	94.556
2025	3.998	111.944
2026	4.638	129.864
2027	5.295	148.260
2028	5.970	167.160
2029	6.661	186.508
2030	7.368	206.304
2031	8.090	226.520
2032	8.827	247.156
2033	9.578	268.184
2034	10.340	289.520
2035	11.120	311.360
2036	11.910	333.480
2037	12.710	355.880
2038	13.520	378.560
2039	14.350	401.800
2040	15.180	425.040
2041	16.030	448.840
2042	16.880	472.640
2043	17.740	496.720
2044	18.620	521.360
2045	19.500	546.000
2046	20.390	570.920
2047	21.290	596.120

Tabel 2. Tingkat Emisi CO₂-eq dari TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru (Lanjutan)

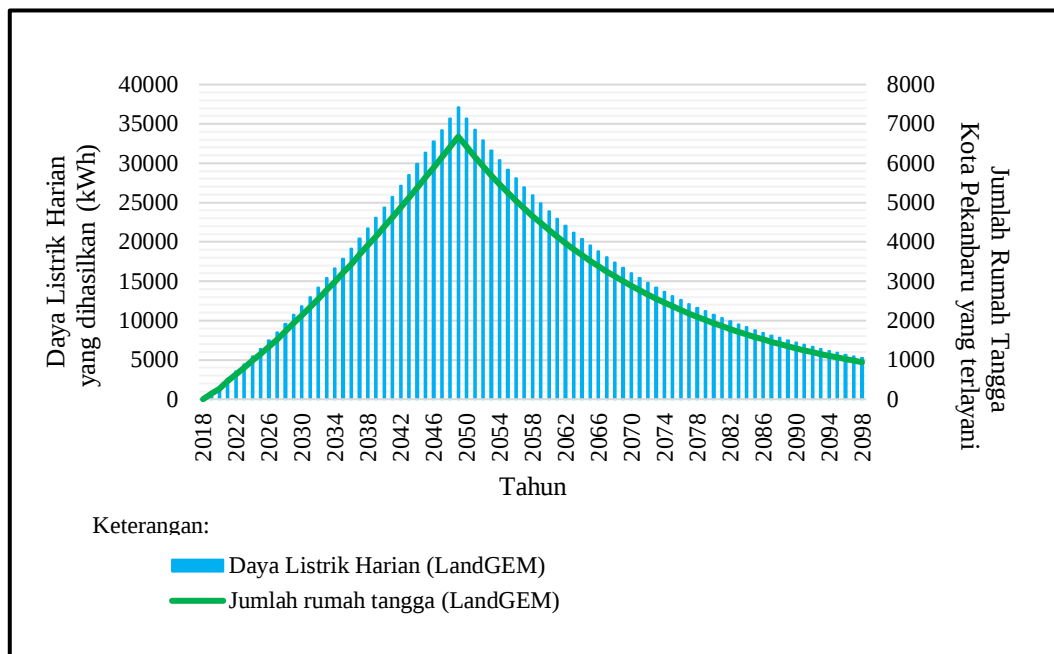
Tahun	Emisi Gas Metana (CH ₄)	
	<i>LandGEM ver 3.02</i>	
	Berat (Mg/tahun)	MgCO ₂ -eq
2048	22.190	621.320
Jumlah	313.596	8.780.688

Berdasarkan Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa total tingkat emisi CO₂-eq dari TPA 2 Muara Fajar selama masa operasi hingga penutupan (2018-2048) yang diperoleh dari hasil estimasi emisi gas metana menggunakan LandGEM sebesar 8.780.688 MgCO₂-eq. Oleh karena itu setelah diperoleh data tingkat emisi CO₂-eq yang dihasilkan dari kegiatan *landfilling* di TPA 2 Muara Fajar ini, maka diperlukan suatu rencana pengelolaan emisi gas metana menjadi sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan oleh masyarakat Kota Pekanbaru dan pemerintah setempat.

2.4 Analisis Potensi Energi Listrik dari Emisi Gas Metana TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru

Emisi gas metana (CH₄) dari zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai energi alternatif dikarenakan kandungan kalor yang ada pada gas tersebut. Potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari gas metana ini dapat dihitung dengan mengalikan jumlah timbunan gas metana terhadap nilai setara energinya dengan menggunakan persamaan 2.

Berikut grafik hasil perhitungan potensi energi listrik dari emisi gas metana di TPA 2 Muara Fajar dari tahun 2018 hingga 2098 beserta pemanfaatannya bagi kebutuhan listrik rumah tangga Kota Pekanbaru



Gambar 3. Grafik Potensi Energi Listrik dari Emisi Gas Metana TPA 2 Muara untuk Pemenuhan Kebutuhan Listrik Harian Rumah Tangga Masyarakat Kota Pekanbaru Tahun 2018-2098

Adapun total rumah tangga di Kota Pekanbaru yang dapat di *supply* kebutuhan listrik hariannya dengan daya listrik dari produksi harian gas CH₄ TPA 2 Muara Fajar (1.322.547,09 kWh) untuk tahun 2018-2098 sebanyak 237.868 rumah tangga.

3. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Nilai estimasi emisi gas metana (CH₄) tertinggi yang dihasilkan dari kegiatan pengurugan di zona *landfill* TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru pada tahun 2049 yang diperoleh dengan menggunakan pemodelan LandGEM version 3.02 sebesar 23.110 Mg/tahun atau setara 34.630.000 m³/tahun.
2. Total tingkat emisi CO₂-eq dari TPA 2 Muara Fajar Kota Pekanbaru selama masa operasi hingga penutupan (2018-2048) yang diperoleh dari hasil estimasi emisi

gas metana menggunakan pemodelan *LandGEM version 3.02* sebesar 8.780.688 MgCO₂-eq.

3. Total daya listrik harian yang dihasilkan dari gas metana sebesar 1.322.547,09 kWh yang diharapkan dapat memenuhi kebutuhan listrik harian 237.608 rumah tangga di Kota Pekanbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kota Pekanbaru. (2020). *Kota Pekanbaru dalam Angka 2020*.
- Direktorat Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan MPV. (2018). *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca dan Monitoring, Pelaporan Verifikasi Tahun 2018*.
- Direktorat Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3 (PSLB3). (2020). *Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN)*.

- IPCC. (2006). *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories 2006*. Volume 5 Waste, Chapter 3 Solid Waste Disposal.
- IPCC. (2014). *IPCC Fifth Assessment Report (AR5) about Global Warming Potential Values for 100-Year Time Horizon*.
- Kementerian Lingkungan Hidup (KLH). (2012). *Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional*. Jakarta.
- Mark, O. and Tom, K. (1996). *A Guide for Methane Mitigation Projects. Gas-to-Energy at Landfills and Open Dumps*. Draft. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air and Radiation.
- Marten, A.L., Newbold, S.C., (2012). *Estimating The Social Cost of Non CO₂ GHG Emission: Metan and Nitrous Oxide*. Energy Policy 51: 957 – 972.
- Peraturan Daerah Kota Pekanbaru Nomor 08 Tahun 2014 tentang *Pengelolaan Sampah*.
- Peraturan Direktur Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim Nomor P5/PPI/SET/KUM I/12/2017 tentang *Pedoman Penghitungan Emisi Gas Rumah Kaca Untuk Aksi Mitigasi Perubahan Iklim Berbasis Masyarakat*.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.33/MENLHK/SETJEN/KU M.1/3/2016 tentang *Pedoman penyusunan aksi adaptasi perubahan iklim*.
- Sorensen, B. (2007). *Renewable Energy Conversion, Transmission and Storage*. Elsevier Academic Press. Boston.
- Tchobanoglous G., Theisen H., dan Vigil S.A. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. McGraw-Hill International Editions: Singapore.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. EPA-600/R-05/047. North California