



# Potensi Pemanfaatan Sumber Energi Alternatif Gas Metana untuk Pembangkit Listrik 3 MW Menggunakan Pemodelan Landgem (Studi Kasus: TPA Koya Koso Kota Jayapura)

## *Methane Gas Alternative Energy Resource Utility Potential for 3 MW Power Plant Using Landgem Modeling (Case Study: TPA Koya Koso Kota Jayapura)*

Royend F. Samosir, Johni Jonatan Numberi\*, Enos Karapa, Herbert Innah, Yane Ansanay, Prihananto Setiadji dan Tiper K. M. Uniplaita

Universitas Cenderawasih, Jl. Kamp Wolker, Jayapura, Indonesia

### Informasi artikel:

Diterima:  
29/06/2023  
Direvisi:  
02/07/2023  
Disetujui:  
05/07/2023

### Abstract

*The volume of waste will continue to increase with increasing time, population, and economic growth in a city, district, or province. The city of Jayapura, as the center of the economy of the land of Papua, is the same way. The Koya Koso TPA management system for Jayapura City is currently landfill control, where the waste that has been collected at the TPA is stockpiled using layers of soil so that the piles are increasing in number day by day and causing problems including air pollution by methane gas, CO<sub>2</sub>, and other gases and limited land, thereby reducing the age of TPA Koya Koso Jayapura City. This study aims to determine the potential content of methane gas by modeling it using Landgem software and the potential capacity of electrical energy that can be generated. The results showed that the potential content of methane gas generated from Landgem modeling is 13,134,026 m<sup>3</sup>/year, or 8,762 tons/year, resulting in a potential capacity of electrical energy of 2,797.22 kW, or 2.8 MW.*

*Keywords: methane gas, waste, Landgem, electrical power.*

### SDGs:



### Abstrak

Volume sampah akan terus bertambah seiring dengan peningkatan jumlah penduduk dan ekonomi suatu kabupaten, kota, serta provinsi. Hal ini juga terjadi pada Kota Jayapura sebagai pusat perekonomian tanah papua. Satu-satunya TPA di Kota Jayapura adalah TPA Koya Koso, dengan metode pengolahan kontrol landfill, dimana sampah ditimbun dengan lapisan tanah. Hal ini menyebabkan jumlah timbunan semakin bertambah dan lahan menjadi terbatas, sehingga umur TPA makin berkurang. Dampaknya terhadap lingkungan adalah polusi oleh gas metana, CO<sub>2</sub> dan gas rumah kaca lainnya. Penelitian ini mengusulkan penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) sebagai bentuk pengolahan sampah di TPA Koya Koso. Perhitungan energi listrik dari PLTSA tersebut didasarkan pada potensi kandungan gas metana. Potensi gas metana pada penelitian ini dihitung menggunakan pemodelan Landgem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi kandungan gas Metana Koya Koso adalah 13.134.026 m<sup>3</sup>/ tahun atau 8.762 Ton/tahun. Nilai kandungan tersebut dapat digunakan sebagai sumber energi PLTSA untuk menghasilkan energi listrik 2.797,22 kW atau 2,8 MW.

**Kata Kunci:** gas metana, sampah, Landgem, electrical power.

\*Penulis Korespondensi  
email : [j\\_numberi@yahoo.com](mailto:j_numberi@yahoo.com)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## 1. PENDAHULUAN

Peningkatan jumlah penduduk dan daya belinya berpengaruh terhadap peningkatan jumlah sampah. Sehingga, pemerintah harus berfokus terhadap penanganan sampah yang jumlahnya terus meningkat setiap tahun. Disisi lain, *cost* (Biaya) dalam mengatasi sampah kota adalah faktor penghambat dalam pengembangan keberhasilan tata kelola sampah (Damanhuri dkk., 2009).

Kota Jayapura sebagai ibu kota provinsi dan pusat perekonomian tanah papua juga mengalami masalah pengolahan sampah. Sistem pengelolaan sampah TPA Koya koso Kota jayapura adalah kontrol landfill, dimana sampah yang telah terkumpul akan ditimbun dengan lapisan tanah. Terdapat dua konsekuensi yang dihasilkan, pertama, pencemaran udara oleh gas metana, CO<sub>2</sub> dan gas lainnya, kedua, keterbatasan lahan. Hal ini pada akhirnya akan mengurangi umur TPA Koya Koso. TPA ini telah beroperasi sejak tahun 2015 dan direncanakan tutup pada tahun 2035 atau umur lebih dari 20 tahun. Berdasarkan data kepala UPTD, TPA Koya koso menerima kurang lebih 350 ton sampah per hari dan terdapat sekitar 2 juta ton sampah tanpa pemanfaatan di lokasi TPA.

PLTSa atau Pembangkit Listrik Tenaga Sampah merupakan salah satu jalan keluar perihal tata kelola sampah. Selain mengurangi jumlah sampah, PLTSa juga menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan oleh masyarakat sekitar. PLSTa memanfaatkan senyawa atau zat kimiawi yaitu Gas Metan atau CH<sub>4</sub>, gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dan gas lainnya yang bisa meningkatkan gas rumah kaca (GRK) (Angriani, 2017; Bove dan Lunghi, 2006; Morgan dan Yang, 2001; Muljono, Mukti dan Natsir, 2022; Rahmawati, Haddin dan Suhartono, 2023; Wahyuni, 2011).

Terdapat studi-studi pemanfaatan sampah sebagai sumber energi PLTSa. Ikhsan dan Sukriyadin mengusulkan pembangunan PLTSa di Kota Banda Aceh sebagai bentuk pengendalian sampah (Ikhsan dan Syukriyadin, 2014). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa dengan potensi volume sampah 216,024 m<sup>3</sup>/tahun, mampu menghasilkan gas metana sebesar 1,992,533 m<sup>3</sup>/tahun.

Gas tersebut digunakan untuk membangkitkan energi listrik 1,719 kW menggunakan mesin dengan efisiensi 25%. Monice melakukan analisis pemanfaatan sampah sebagai sumber pembangkit Listrik di TPA Muara Fajar Pekanbaru (Monice, 2018). Berdasarkan hasil pemodelan LandGem, potensi sampah 1,819,473 m<sup>3</sup>/tahun pada TPA Muara Fajar dapat menghasilkan gas metana 5,338,000 m<sup>3</sup>/tahun dan daya listrik 6,806 kW.

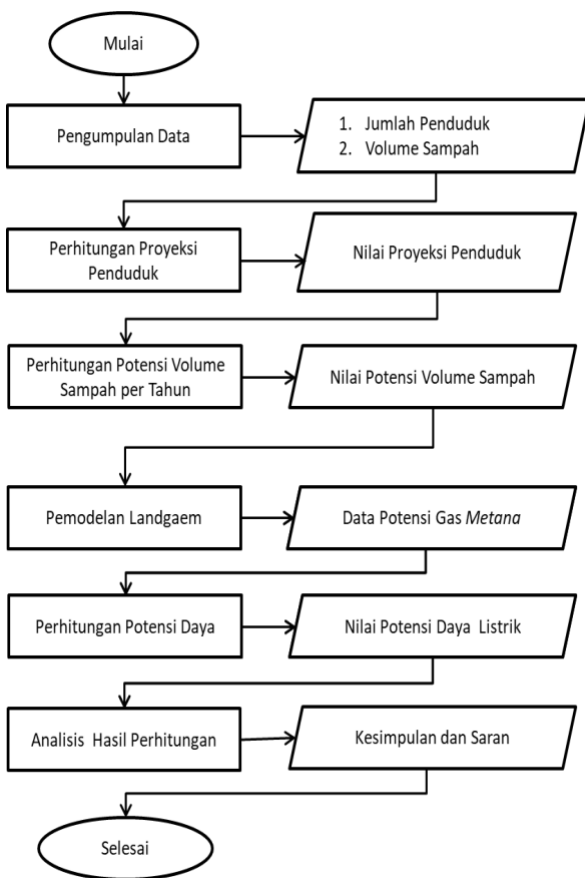
Berbeda dengan penelitian yang menggunakan pemodelan Landgem untuk menghitung potensi sampah, Rohman serta Farahdiba dan Putra, menggunakan metode *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) untuk memperkirakan Potensi Gas Metana, masing-masing di TPA Tegalasri Wlingi dan TPA Piyungan Bantul (Rohman, 2022; Farahdiba and Putra, 2014). Hasil studi ini menunjukkan bahwa potensi produksi gas metana TPA Tegalasri diperkirakan sebesar 941.5 ton pada tahun 2019 dan 6,186 ton untuk TPA Piyungan.

Penggunaan metode LandGem dan IPCC harus didasarkan pada ketersediaan data yang memadai. Metode IPCC memang memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi dari metode LandGem, namun data yang dibutuhkan lebih kompleks. Metode IPCC menekankan pada rincian data analisis kimiawi sampah dan lingkungan TPA. Sedangkan, metode LandGem hanya melihat data volume sampah.

Berdasarkan pemaparan diatas, dan fakta bahwa belum tersedianya PLTSa sebagai bentuk tata kelolah sampah di Kota Jayapura, maka penelitian ini mengusulkan sebuah studi potensi sampah sebagai sumber PLTSa pada TPA Koya Koso. Perhitungan potensi gas metana dilakukan menggunakan metode LandGem karena kebutuhan data yang sederhana. Belum tersedia fasilitas laboratorium yang memadai di Kota Jayapura untuk menganalisis komposisi kimiawi dari sampah TPA Koya Koso, jika penelitian menggunakan metode IPCC. Jumlah konsentrasi gas metana dari hasil pemodelan metode LandGem digunakan untuk menghitung total energi listrik yang dapat dihasilkan TPA Koya Koso Kota Jayapura.

## 2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan selama tiga bulan (April hingga Mei 2023) di TPA Koya Koso, Kampung Koya Koso, Distrik Abepura, Kota Jayapura, Provinsi Papua. Penelitian dilaksanakan terdiri dari enam kegiatan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Masing-masing kegiatan adalah pengumpulan data, perhitungan proyeksi jumlah penduduk, perhitungan potensi sampah, pemodelan LandGem, perhitungan potensi daya, dan analisis hasil perhitungan.



Gambar 1. Alur penelitian

### 2.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data jumlah penduduk Kota Jayapura dan volume sampah TPA Koya Koso dari tahun 2012 hingga 2021. Data jumlah penduduk merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Jayapura. Data ini digunakan untuk menghitung proyeksi jumlah penduduk Kota Jayapura tahun 2022 hingga 2035. Sedangkan,

data volume sampah TPA Koya Koso diperoleh dari Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Jayapura. Dinas tersebut menghitung volume sampah berdasarkan hasil timbangan truk pengangkut sampah ke TPA Koya Koso yang melalui jembatan timbang. Data ini akan digunakan untuk menghitung proyeksi volume sampah tahun 2022 hingga 2035.

### 2.2. Perhitungan Proyeksi Penduduk

Perhitungan proyeksi penduduk Kota Jayapura tahun 2022 hingga 2035 didasarkan pada hasil proyeksi aritmatik atau geometrik. Hasil proyeksi yang dipilih memiliki standar deviasi terkecil dengan koefisien korelasi mendekati satu (Sugiyono, 2007; Karyana dan Rusliana, 2021).

Persamaan proyeksi aritmatika untuk memprediksi jumlah penduduk ditunjukkan persamaan (1) dan persamaan (2), berikut:

$$r = \frac{1}{t \left( \frac{P_t}{P_0 - 1} \right)} \quad (1)$$

$$P_t = P_0 (1 + r \cdot t) \quad (2)$$

Sedangkan, persamaan proyeksi geometri ditunjukkan persamaan (3) dan persamaan (4), berikut:

$$r = \left( \frac{P_t}{P_0} \right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (3)$$

$$P_t = P_0 (1 + r \cdot t) \quad (4)$$

dimana:

$P_t$  = Jumlah penduduk tahun  $t$

$P_0$  = Jumlah penduduk tahun dasar

$r$  = Angka pertumbuhan penduduk

Hasil maksimal proyeksi diperoleh dengan menggunakan data Jumlah penduduk 9 tahun sebelumnya yaitu tahun 2012- 2021.

### 2.3. Perhitungan Proyeksi Volume Sampah

Perhitungan proyeksi volume sampah tahun 2022 hingga 2035 didasarkan pada persamaan (5) dan persamaan (6). Nilai faktor pelayanan dan volume sampah tahun 2015 hingga 2021 yang dimasukan pada kedua persamaan tersebut diperoleh dari hasil wawancara dengan BPS Kota Jayapura.

$$T = \frac{M_t}{F_p \times P_T \times 365} \quad (5)$$

$$M_t = F_p \times T \times P_T \times 365 \quad (6)$$

dimana:

$T$  = Timbulan sampah rerata ( $m^3$ /(orang.hari))

$M_t$  = Volume sampah tahun  $t(m^3)$

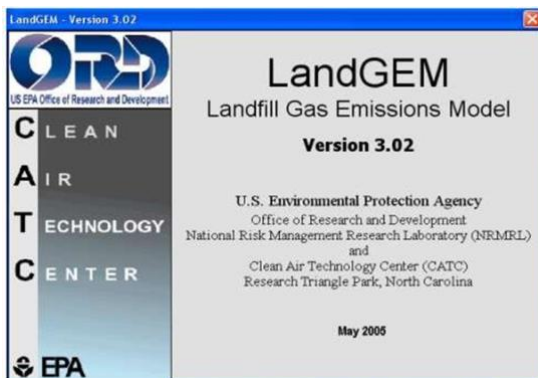
$P_t$  = Proyeksi jumlah penduduk tahun  $t$

$F_p$  = Faktor pelayanan (%)

Terdapat empat langkah perhitungan untuk menentukan proyeksi volume sampah. Pertama, menghitung timbulan sampah rerata dari tahun 2015 hingga 2021 ( $T_{2015}$  hingga  $T_{2021}$ ) menggunakan persamaan (5). Kedua, merata-rata nilai timbulan sampah selama tujuh tahun tersebut ( $T_{rata-rata (2015-2021)}$ ). Ketiga, Nilai rata-rata timbulan sampah tahun 2015 hingga 2021, ditetapkan sebagai nilai rata-rata timbulan sampah tahun 2022 hingga 2035 ( $T_{2022-2035} = T_{rata-rata (2015-2021)}$ ). Keempat, menghitung volume sampah tahun 2022 hingga 2035 ( $M_{2022-2035}$ ) berdasarkan nilai rata-rata timbulan sampah yang ditetapkan untuk tahun 2022 hingga 2035 ( $T_{2022-2035}$ ) menggunakan persamaan (6).

## 2.4. Pemodelan Landgem

Landfill Gas Emissions model atau LandGEM adalah aplikasi berbasis *Microsoft Excel*. LandGem dapat mengestimasi taraf atau volume emisi gas pada TPA, seperti gas metana, gas karbon dioksida, gas senyawa non-metana. Tampilan *software* LandGem ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan awal *software* Landgem

Variabel yang dibutuhkan sebagai input pemodelan LandGem adalah volume sampah, temperatur TPA, konstanta K, kapasitas

pembentukan metana, dan kandungan gas metana pada sampah (EPA, 2016). Tabel 1 menunjukkan nilai variabel yang dibutuhkan pada pemodelan LandGem.

Tabel 1. Nilai variabel pemodelan LandGem

Variabel	Nilai
Volume Sampah TPA	Hasil Proyeksi tahun 2022-2035
Temperatur TPA	27°C
Konstanta nilai K	0,05
Kapasitas Pembentukan Metana	170 $m^3$ /mg
Kandungan Metana pada Kondisi TPA dengan Campuran Sampah Organik - Non Organik	50%

Hasil pemodelan LandGEM bertujuan untuk mengidentifikasi laju timbulan emisi gas metana dan karbondioksida di area TPA Koya koso sehingga dapat diketahui seberapa besar potensinya untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif.

## 2.5. Perhitungan Potensi Daya

Formula untuk menghitung energi listrik yang dihasilkan dari jumlah gas metana memakai persamaan (7):

$$P_g = \frac{Q_T \times H_o}{3600} \quad (7)$$

Dimana:

$P_g$  = Produksi gas LFG(kW)

$Q_T$  = Produksi gas metana ( $m^3$ /jam)

$H_o$  = Nilai kalor gas ( $kJ/m^3$ )

Nilai kalor ( $H_o$ ) mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Narayanan dan Shrestha, yaitu  $16.785 \text{ kJ/m}^3$  (Narayanan dan Shrestha, 2009). Sedangkan, daya listrik hasil pembangkit dihitung menggunakan persamaan (8):

$$P_e = \eta_e \cdot P_g \quad (8)$$

dimana:

$P_e$  = Daya listrik keluaran pembangkit(kW)

$\eta_e$  = Efisiensi pembangkit listrik

Nilai efisien pembangkit listrik tergantung dari jenis generator yang digunakan. Penelitian ini menggunakan generator dengan efisiensi 42,2%.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Perhitungan Potensi Daya

Data jumlah penduduk Kota Jayapura tahun 2012 hingga 2021 dari BPS Kota Jayapura ditunjukkan Tabel 2. Sedangkan, data sampah TPA Koya Koso dan persentase faktor pelayanannya ditunjukkan Tabel 3.

Tabel 2. Data jumlah penduduk kota Jayapura 2012-2021 (BPS, 2022)

No	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2012	268,285
2	2013	272,544
3	2014	275,694
4	2015	283,490
5	2016	288,786
6	1017	293,690
7	1018	297,775
8	2019	300,192
9	2020	398,478
10	2021	404,004

Tabel 2 menunjukkan bahwa penduduk Kota Jayapura bertambah sekitar 50 % dalam 1 dekade terakhir, dengan rata-rata pertumbuhan 5 % setiap tahunnya. Sedangkan berdasarkan Tabel 3, rata-rata peningkatan sampah Kota Jayapura adalah sekitar 10 % pertahunnya. Hal ini diikuti dengan meningkatnya faktor pelayanan hingga mencapai 80% pada tahun 2022.

Tabel 3. Data sampah kota Jayapura (Kemenlhk, 2022)

Tahun	Berat Sampah (Ton)	Faktor Pelayanan
2015	52,231	70%
2016	53,213	70%
2017	53,338	70%
2018	61,631	70%
2019	64,395	75%
2020	65,998	80%
2021	67,161	80%
2022	98,662	80%

#### 3.2. Hasil Proyeksi Jumlah Penduduk

Perhitungan awal untuk menentukan nilai standar deviasi dan koefisien korelasi baik untuk metode aritmatik maupun metode geometri didasarkan masing-masing pada persamaan (1), persamaan (2), persamaan (3) dan persamaan (4). Perhitungannya menggunakan data penduduk

tahun 2012 hingga 2021. Sedangkan, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan nilai standar deviasi dan koefisien korelasi menggunakan metode aritmatik dan geometri

Tahun	Jumlah Jiwa	Aritmatika		Geometrik	
		r (%)	P <sub>t</sub>	R (%)	P <sub>t</sub>
2012	268,285		268,285		268,285
2013	272,544		283,365		280,770
2014	275,694		298,445		293,836
2015	283,490		313,525		307,510
2016	288,786		328,605		321,821
1017	293,690		343,684		336,797
1018	297,775	5.62	358,764	4.65	352,470
2019	300,192		373,844		368,873
2020	398,478		388,924		386,039
2021	404,004		404,004		404,004
Standar Deviasi			45,657		45,644
Koefisien Korelasi			1		0,86

Berdasarkan hasil perhitungan standar deviasi dan koefisien korelasi pada Tabel 4, metode yang digunakan untuk proyeksi penduduk Kota Jayapura dari tahun 2022 hingga 2035 adalah metode aritmatika. Metode ini digunakan karena memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 1 seperti yang ditunjukkan Tabel 4. Artinya, proyeksi aritmatika merupakan metode yang paling sesuai untuk mewakili pola pertumbuhan penduduk Kota Jayapura. Hasil proyeksi penduduk Kota Jayapura dari tahun 2022 hingga 2035 dengan metode aritmatik ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan proyeksi penduduk kota Jayapura tahun 2022-2035 dengan metode aritmatika

No	Tahun	Jumlah penduduk
1	2022	426,712
2	2023	450,697
3	2024	476,030
4	2025	502,787
5	2026	531,048
6	2027	560,898
7	2028	592,425
8	2029	625,724
9	2030	660,895
10	2031	698,043
11	2032	737,279
12	2033	778,720
13	2034	822,491
14	2035	868,722

Hasil proyeksi penduduk tahun 2022 hingga 2035 pada Tabel 5 menunjukkan rerata peningkatan penduduk setiap tahun yang sesuai dengan data awal Tabel 3, yaitu 5%.

### 3.3. Hasil Proyeksi Volume Sampah

Langkah pertama, menghitung timbulan sampah rerata dari tahun 2015 hingga 2021 ( $T_{2015}$  hingga  $T_{2021}$ ) menggunakan persamaan (5). Perhitungan dibawah dilakukan untuk tahun 2019, sedangkan hasil perhitungan nilai timbulan lainnya ditunjukkan pada Tabel 6 kolom keempat.

$$T_{2019} = \frac{M_{2019}}{F_{2019} \times P_{2019} \times 365}$$

$$T_{2019} = \frac{64,395,000 \text{ kg}}{75\% \times 300,192 \text{ orang} \times 365 \text{ hari}}$$

$$T_{2019} = 0,78 \frac{\text{kg}}{\text{orang} \times \text{hari}}$$

Langkah kedua menghasilkan nilai rata-rata timbulan sampah tahun 2015 hingga 2021 sebesar 0,71 kg/(orang x hari). Langkah ketiga menetapkan timbulan 0,71 kg/(orang x hari) sebagai nilai rerata timbulan tahun 2022 hingga 2035 seperti ditunjukkan Tabel 6 kolom keempat. Langkah keempat, menghitung volume sampah tahun 2022 hingga 2035 ( $M_{2022-2035}$ ) berdasarkan timbulan 0,71 kg/(orang x hari) yang dimasukkan pada persamaan (6), sehingga menghasilkan:

$$M_{2023} = F_{2023} \times T_{2023} \times P_{2023} \times 365$$

$$M_{2023} = 0.8 \times 0.71 \times 450,697 \times 365$$

$$M_{2023} = 93,438.502 \text{ Ton}$$

Hasil proyeksi volume sampah untuk tahun 2023 hingga 2035 juga ditampilkan pada Tabel 6 kolom keenam.

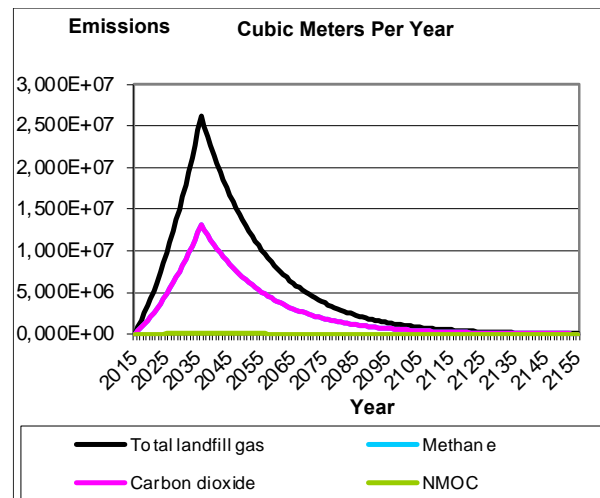
### 3.4. Hasil Pemodelan LandGEM

Pemodelan LandGem dimulai dengan memasukan nilai variabel yang ditunjukkan Tabel 1 pada *interface software* seperti yang ditunjukkan Gambar 3. Sedangkan, hasil pemodelan ditunjukkan pada Tabel 7. Volume gas metana yang digunakan sebagai sumber energi pembangkit PLTSa semakin meningkat pertahunnya hingga 2036.

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated (kg/day)
2015	5221	57.454
2016	5321	58.534
2017	5310	58.672
2018	6361	67.794
2019	64395	70.895
2020	65998	72.598
2021	6781	73.877
2022	98962	108.529
2023	93.438	102.762
2024	98.697	108.599
2025	104.238	114.662
2026	100.097	121.107
2027	16.285	127.514
2028	122.822	135.134
2029	125.725	142.898
2030	137.011	150.718
2031	144.718	159.333
2032	162.085	168.138
2033	161.444	177.589
2034	170.518	187.574
2035	180.103	198.114

Gambar 3. User input pemodelan LandGem

Pada tahun 2036, PLTSa TPA Koya Koso dapat menghasilkan gas metana dengan volume 13,134,026 m<sup>3</sup>/tahun, dimana tahun inilah puncak produksi gas metana TPA tersebut. Data hasil analisa nilai volume gas metana ditampilkan pada Gambar 4. Setelah tahun 2036, saat TPA Koya Koso selesai beroperasi, terjadi penurunan volume gas metana karena tidak ada lagi pasokan sampah sebagai sumber energi PLTSa.



Gambar 4. Grafik produksi LFG pemodelan Landgem

### 3.5. Hasil Perhitungan Daya Listrik PLTSa

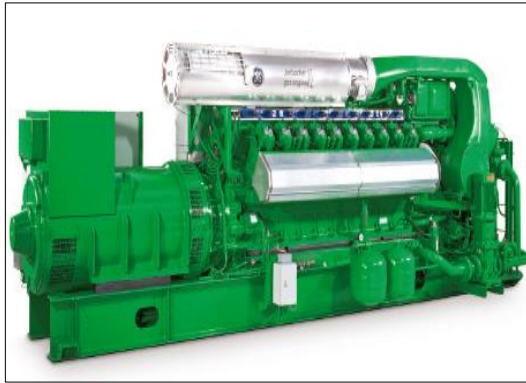
Perhitungan daya listrik pada PLTSa TPA Koya Koso Kota Jayapura diawali penentuan teknologi untuk menkonversi gas metana menjadi energi listrik. Teknologi yang dipakai pada penelitian ini adalah *Gas engine* model *Jenbacher J420* seperti ditunjukkan Gambar 5. Sedangkan, spesifikasi teknologi *gas engine* model *Jenbacher J420* ditampilkan Tabel 8.

Tabel 6. Volume timbulan sampah berdasarkan jumlah penduduk

Tahun	Jumlah Penduduk	Jumlah Penduduk Terlayani	Timbulan Sampah kg/org/hari	Jumlah Hari Dalam 1 Tahun	Jumlah Sampah	
					(Ton)	(kg)
2015	283,490	70%	0.72	365	52,231	52,231,000
2016	288,786	70%	0.72	365	53,213	53,213,000
2017	293,690	70%	0.71	365	53,338	53,338,000
2018	297,775	70%	0.81	365	61,631	61,631,000
2019	300,192	75%	0.78	365	64,395	64,395,000
2020	398,478	80%	0.57	365	65,998	65,998,000
2021	404,004	80%	0.57	365	67,161	67,161,000
2022	426,712	80%	0.79	365	98,662	98,662,000
rata rata timbulan sampah (2015-2022) = 0.71 kg/orang/hari						
2023	450,697	80%	0.71	365	93,439	93,438,502
2024	476,030	80%	0.71	365	98,691	98,690,540
2025	502,787	80%	0.71	365	104,238	104,237,801
2026	531,048	80%	0.71	365	110,097	110,096,871
2027	560,898	80%	0.71	365	116,285	116,285,373
2028	592,425	80%	0.71	365	122,822	122,821,551
2029	625,724	80%	0.71	365	129,725	129,725,100
2030	660,895	80%	0.71	365	137,017	137,016,751
2031	698,043	80%	0.71	365	144,718	144,718,255
2032	737,279	80%	0.71	365	152,853	152,852,646
2033	778,720	80%	0.71	365	161,444	161,444,259
2034	822,491	80%	0.71	365	170,519	170,518,794
2035	868,722	80%	0.71	365	180,103	180,103,394

Tabel 7. Hasil pemodelan Landgem

Year	Total landfill gas		Methane		Carbon dioxide		NMOC	
	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)	(Mg/year)	(m <sup>3</sup> /year)
2015	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	1,084	868,261	290	434,131	795	434,131	12	3,473
2017	2,136	1,710,501	571	855,251	1,566	855,251	25	6,842
2018	3,139	2,513,743	839	1,256,871	2,301	1,256,871	36	10,055
2019	4,266	3,415,668	1,139	1,707,834	3,126	1,707,834	49	13,663
2020	5,394	4,319,553	1,441	2,159,777	3,953	2,159,777	62	17,278
2021	6,501	5,206,003	1,737	2,603,001	4,765	2,603,001	75	20,824
2022	7,579	6,068,553	2,024	3,034,276	5,554	3,034,276	87	24,274
2023	9,257	7,412,692	2,473	3,706,346	6,784	3,706,346	106	29,651
2024	10,745	8,604,445	2,870	4,302,222	7,875	4,302,222	123	34,418
2025	12,270	9,825,382	3,277	4,912,691	8,993	4,912,691	141	39,302
2026	13,836	11,078,988	3,696	5,539,494	10,140	5,539,494	159	44,316
2027	15,447	12,368,853	4,126	6,184,426	11,321	6,184,426	177	49,475
2028	17,107	13,698,685	4,570	6,849,342	12,538	6,849,342	196	54,795
2029	18,823	15,072,314	5,028	7,536,157	13,795	7,536,157	216	60,289
2030	20,598	16,493,712	5,502	8,246,856	15,096	8,246,856	236	65,975
2031	22,438	17,967,000	5,993	8,983,500	16,444	8,983,500	258	71,868
2032	24,348	19,496,461	6,504	9,748,231	17,844	9,748,231	280	77,986
2033	26,333	21,086,551	7,034	10,543,276	19,299	10,543,276	302	84,346
2034	28,401	22,741,914	7,586	11,370,957	20,815	11,370,957	326	90,968
2035	30,555	24,467,395	8,162	12,233,697	22,394	12,233,697	351	97,870
2036	32,804	26,268,052	8,762	13,134,026	24,042	13,134,026	377	105,072



Gambar 5. Gas engine Jenbacher J42

Tabel 8. Spesifikasi teknologi gas engine Jenbacher J42 (Jenbacher, 2016)

Parameter	Spesifikasi
Model	Jenbacher J420
Dimension (mm)	7.100 x 1.900 x 1.200
Bore / stroke (mm)	2.200
Weights	145/185
Speed (rpm)	14.400
Mean Piston	1.500 (50 Hz)
Speed (m/s)	9,3
Applicable gas type	Natural gas, flare gas, landfill gas, biogas
Total heat output (kW)	1.487 kW
Electrical efficiency (%)	42,2%
Thermal efficiency (%)	43,9%
Total efficiency (%)	86,1%

Daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh gas metana dengan volume 13,134,026 m<sup>3</sup>/tahun atau 1,499.32 m<sup>3</sup>/jam, jika dihitung menggunakan persamaan (7), maka:

$$P_g = \frac{1,499.32 \text{ m}^3/\text{jam} \times 16.785 \text{ kJ/m}^3}{3600}$$

$$P_g = 6,990.57 \text{ kWh.}$$

Sedangkan, daya listrik yang dapat dari Gas engines model Jenbacher J420 berdasarkan persamaan (8) adalah:

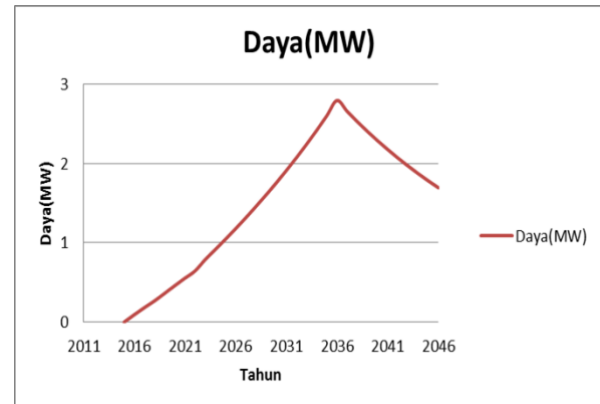
$$P_e = 42,2\% \times 6,990.57 \text{ kW}$$

$$P_e = 2,797.22 \text{ kW}$$

$$P_e \approx 2.8 \text{ kW.}$$

Hasil perhitungan daya listrik yang mampu dihasilkan PLTSa TPA Koya Koyo sepanjang tahun 2015 hingga 2036 ditunjukkan Gambar 6. Daya

listrik maksimal TPA Koya Koyo dicapai tahun 2036, yaitu sebesar 2.8kWh.



Gambar 6. Grafik daya listrik per tahun

### 3.6. Analisis Hasil Perhitungan Potensi Gas Metana dan Daya Listrik PLTSa TPA Koya Koso

Hasil perhitungan dan pemodelan menunjukkan bahwa pengembangan PLTSa di TPA Koya Koso mampu menghasilkan energi listrik dengan daya maksimum sekitar 2,8 MW, lewat pemanfaatan 180.000 ton sampah. Artinya, setiap 1 kg sampah dari masyarakat Kota Jayapura mampu menghasilkan daya listrik sebesar 15 W atau setara dengan nyala satu lampu pijar.

PLTSa TPA Koya Koso memiliki potensi daya listrik dua kali lipat dibandingkan dengan PLTSa Kota Banda Aceh yang diusulkan oleh Ikhsan dan Sukriyadin (Ikhsan dan Syukriyadin, 2014). PLTSa Kota Banda Aceh hanya mampu menghasilkan daya maksimal 1,719 kW. Hal ini dikarenakan volume gas metana TPA Kota Banda Aceh terbatas pada level 1.992.533 m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan TPA Koya Koso berada pada level 13,134,026 m<sup>3</sup>/tahun. Disisi lain, PLTSa TPA Muara Fajar Pekanbaru pada penelitian Monice yang memiliki potensi gas metana sebesar 5.338.000 m<sup>3</sup>/tahun (Monice, 2018) atau setengah dari TPA Koya Koyo mampu menghasilkan daya listrik sebesar 6,806 kW atau hampir tiga kali lipat dari TPA Koya Koso. Hal ini dikarenakan koefisien mesing pada PLTSa TPA Muara Fajat yang lebih besar dari PLTSa TPA Koya Koso, sehingga lebih banyak energi gas metana yang dikonversi menjadi energi listrik.



#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan analisis Potensi PLTSa Koya Koso serta teknologi yang digunakan, maka dapat disimpulkan bahwa titik tertinggi potensi gas metana terjadi di tahun 2036, dengan volume 13,134,026 m<sup>3</sup>/tahun. Volume gas ini dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 2,797.22 kW atau sekitar 2.8 MW.

Kedepannya dibutuhkan penelitian lanjutan dengan pemodelan IPCC untuk mengoreksi nilai potensi sampah TPA Koya Koso Kota Jayapura penelitian ini. Sehingga, disarankan pengujian laboratorium untuk mengetahui karakteristik sampah baik fisik, kimia, dan biologi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Angriani, N. (2017) *Pemanfaatan Gas Metana Sampah Sebagai Energi Terbarukan (Studi Kasus TPA Puwatu Kendari)*. Thesis. Universitas Hasanuddin.
- Bove, R. dan Lunghi, P. (2006) 'Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies', *Energy Conversion and Management*, 47(11), hal. 1391-1401.
- BPS (2022) *Kota Jayapura Dalam Angka 2019*, Badan Pusat Statistik Kota Jayapura. Online: <https://jayapurakota.bps.go.id/publication/2019/08/16/35d44178fcd58be1b0b8ba06/kota-jayapura-dalam-angka-2019.html> (diakses: 25 Februari 2022).
- Damanhuri, E. dkk. (2009) 'Evaluation of municipal solid waste flow in the Bandung metropolitan area, Indonesia', *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 11(3), hal. 270-276.
- EPA (2016) *Landfill Gas Energy Project Development Handbook*. USA: United States Environmental Protection Agency (EPA) [Cetak].
- Farahdiba, A.U. dan Putra, H. (2014) 'Gas Emissions Inventory of Methane (CH<sub>4</sub>) with First Order Decay (FOD) Method in TPA Piyungan, Bantul, DIY', in *The 3rd International Conference on Sustainable Built Environment. International Conference on Sustainable Built Environment*, Indonesia: Faculty of Civil Engineering and Planning, Universitas Islam Indonesia, hal. 119-128.
- Ikhsan, R. dan Syukriyadin, S. (2014) 'Studi Kelayakan Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di TPA Kota Banda Aceh', in *Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2014. Seminar Nasional dan Expo Teknik Elektro 2014*, Medan: Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, hal. 146-151.
- Jenbacher (2016) *Jenbacher J420 Gas Engine*. Online: <https://www.jenbacher.com/en/gas-engines/type-4/j420> (diakses: 17 Maret 2022).
- Karyana, Y. dan Rusliana, N. (2021) 'Proyeksi Penduduk Jawa Barat Tahun 2025 - 2035 Menggunakan Metode Campuran dengan Data Dasar Sensus Penduduk 2020', *WELFARE Jurnal Ilmu Ekonomi*, 2(1), hal. 26-35.
- Kemenlhk (2022) *Data Sampah Kota Jayapura 2015-2022, Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) - Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan*. Online: <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan> (diakses 17 Juli 2022).
- Monice, M. (2018) 'Analisis Pemanfaatan Energi Dari Pengolahan Metode Landfill Di TPA Muara Fajar Pekanbaru', *Rang Teknik Journal*, 1(2), hal. 215-220.
- Morgan, S.M. dan Yang, Q. (2001) 'Use of Landfill Gas for Electricity Generation', *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, 5(1), hal. 14-24.
- Muljono, A.B., Mukti, K.B.K. dan Natsir, A. (2022) 'Kajian Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Perangkat Lunak LandGEM TPA Kebon Kongok Gerung Lombok Barat', *DIELEKTRIKA*, 9(1), hal. 68-79.
- Narayanan, G. dan Shrestha, S.O.B. (2009) 'Landfill Gas: A Fuel for IC Engine Applications', in *ASME 2007 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference. ASME 2007 Internal Combustion Engine Division Fall Technical Conference*, USA: American Society of Mechanical Engineers Digital Collection, hal. 51-60.
- Rahmawati, I.U., Haddin, M. dan Suhartono, S. (2023) 'Potensi Sampah Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Berbasis Metode Regresi Linier Berganda', *Jurnal Teknik Informatika UNIKA Santo Thomas*, 8(1), hal. 1-8.
- Rohman, A. (2022) 'Perkiraan Potensi Gas Metana di TPA Tegalsari Wlingi dengan IPCC Waste Model dengan Metode Tier-1 First Order Decay', *JURNAL PROTEKSI: Jurnal Lingkungan Berkelanjutan*, 2(1), hal. 1-10.
- Sugiyono (2007) *Statistika untuk penelitian*. 1st edn. Bandung: Alfabeta [Cetak].
- Wahyuni, S. (2011) *Menghasilkan biogas dari aneka limbah*. 1st edn. Jakarta: Agro Media Pustaka [Cetak].

