

# STUDI POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH (PLTSa) PADA TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR (TPA) MAKBON KOTA SORONG

Serli Liling Allo<sup>1</sup>, Herryanus Widjasena<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Politeknik Katolik Saint Paul, Sorong

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Politeknik Katolik Saint Paul, Sorong

<sup>1</sup>[serlilingallo@gmail.com](mailto:serlilingallo@gmail.com), <sup>2</sup>[herryfr@gmail.com](mailto:herryfr@gmail.com)

## Abstrak

Tempat pembuangan akhir (TPA) mengemisikan *Landfill Gas* (LFG) yang mengandung paling banyak gas metana dan karbondioksida. Gas metana memiliki efek pemanasan beberapa kali lebih kuat dalam menyebabkan pemanasan bumi dibandingkan dengan CO<sub>2</sub>. Oleh karena itu pemanfaatan gas metana TPA sebagai bahan bakar pembangkit listrik telah menjadi target negara-negara berkembang untuk mengurangi *green house gas emissions* (GHGs). Sebelum membangun Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) di sebuah TPA dibutuhkan serangkaian studi untuk menentukan apakah PLTSa layak dibangun di TPA tersebut, salah satunya adalah mengetahui jumlah LFG dari TPA untuk menghitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui jumlah LFG yang dihasilkan oleh TPA Makbon Kota Sorong dan selanjutnya menghitung potensi PLTSa berdasarkan kandungan gas metana dalam LFG. Tahapan penelitian dimulai dari pengumpulan data kuantitatif berupa jumlah ton sampah yang masuk ke TPA setiap tahun, ukuran TPA, dan jumlah penduduk. Untuk estimasi LFG digunakan perangkat lunak LandGEM-v302 yang diunduh dari website US *Environmental Protection Agency*. Sedangkan untuk estimasi potensi energi listrik digunakan rumus. Dari hasil penelitian, TPA Makbon Kota Sorong model *sanitary landfill* menghasilkan emisi maksimal gas metana sebesar  $7,321 \times 10^5 \text{ m}^3$  pada tahun 2035 jika diasumsikan tahun 2020 sudah mulai menerima sampah. Berdasarkan hasil penghitungan dengan menggunakan rumus diperoleh potensi energi listrik maksimal yang dihasilkan  $1,685 \times 10^6 \text{ kWh}$ .

**Kata kunci : energi terbarukan, PLTSa, LFG, metana, Landgem-v302**

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk maka kebutuhan akan energi listrik juga semakin meningkat. Di Indonesia sampai saat ini, bahan bakar fosil masih merupakan sumber energi utama dalam pembangkitan energi listrik padahal cadangan bahan bakar fosil di dalam perut bumi semakin berkurang.

Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk menekan ketergantungan terhadap energi bahan bakar fosil dengan menggunakan sumber energi terbarukan (*renewable energy*). Salah satu sumber energi terbarukan adalah sampah.

Tempat pembuangan akhir (TPA) mengandung sampah organik yang dapat mengemisikan LFG (*Landfill Gas*) yang dihasilkan secara kontinyu oleh mikroba pada keadaan *anaerob* [1]. LFG mengandung paling banyak gas metana dan karbondioksida, dimana kedua gas ini merupakan gas rumah kaca, selain itu adanya gas metana di TPA dapat menyebabkan terjadinya ledakan [2].

Pemanfaatan gas metana sebagai bahan bakar pembangkit listrik yang dihasilkan oleh TPA telah menjadi target negara-negara berkembang untuk mengurangi *green house gas emissions* (GHGs) [3].

Sebelum membangun Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) dengan memanfaatkan gas metana, dibutuhkan serangkaian studi untuk menentukan apakah PLTSa layak dibangun di TPA tersebut. Langkah awal adalah mengetahui jumlah LFG dari TPA untuk menghitung potensi energi listrik yang bisa dihasilkan. Hal ini melatarbelakangi peneliti untuk mengambil judul penelitian, “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Makbon Kota Sorong ”

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jumlah LFG yang dihasilkan oleh TPA Makbon Kota Sorong.
2. Menghitung potensi PLTSa dari LFG yang dihasilkan.

### 1.3 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menghitung LFG yang dihasilkan oleh TPA.
2. Bagaimana cara menghitung besar energi listrik berdasarkan kandungan LFG.

### 1.4 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi permasalahan pada:

1. Studi potensi pembangkit listrik tenaga sampah berlokasi di TPA Makbon kota Sorong.
2. Penentuan LFG TPA Makbon kota Sorong menggunakan program aplikasi LandGEM-v302.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Sampah

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) sampah adalah barang atau benda yang dibuang karena tidak terpakai lagi.

Berdasarkan sifatnya sampah kota dapat dibagi menjadi dua yaitu :

- 1) Sampah organik adalah sampah yang mudah terdegradasi sehingga mudah terurai. Contohnya: sampah sayuran, daun-daunan, bagian tubuh hewan, sisa makanan, kertas, kayu dan lain-lain.
- 2) Sampah anorganik adalah sampah yang sulit terdegradasi sehingga sulit terurai. Contohnya: plastik, kaca, logam, kaleng dan lain-lain. [4]

### 2.2 LFG (Landfill Gas)

LFG adalah produk sampingan alami dari dekomposisi sampah di tempat pembuangan sampah. Secara ilmiah, biogas yang dihasilkan dari sampah organik adalah gas yang mudah terbakar (*flammable*). Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri *anaerob* (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa udara). Umumnya, semua jenis bahan organik bisa diproses untuk menghasilkan biogas. Tetapi hanya bahan organik homogen, baik padat maupun cair yang cocok untuk sistem biogas sederhana. Bila sampah-sampah organik tersebut membusuk, akan dihasilkan gas metana (CH<sub>4</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>). Gas metana adalah gas yang sangat berbahaya dan memiliki efek pemanasan beberapa kali lebih kuat dalam menyebabkan pemanasan bumi dibandingkan dengan CO<sub>2</sub>. Metana dikenal sebagai gas rumah kaca yang memiliki 23 kali dampak pemanasan global yang lebih besar dari pada karbon dioksida. Dengan memanfaatkan CH<sub>4</sub> yang sebagai bahan bakar maka dampak negatif gas metana dapat dikurangi. Secara umum komposisi biogas dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini [4] :

**Tabel 2.1. Komposisi Biogas**

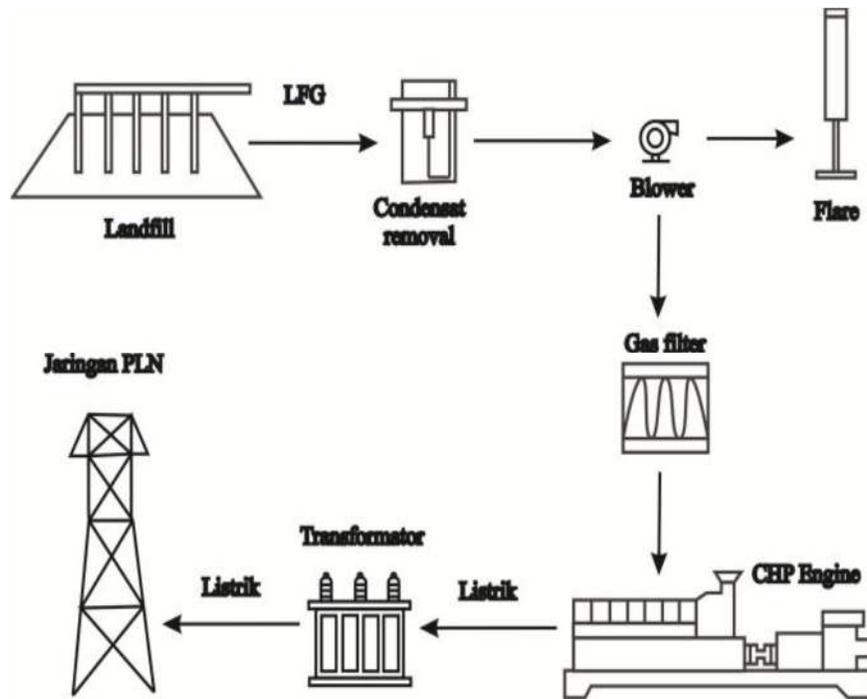
<b>Komponen</b>	<b>Persentase (% Volume)</b>
Metana (CH <sub>4</sub> )	55 - 75
Karbon dioksida (CO <sub>2</sub> )	25 - 45
Nitrogen (N <sub>2</sub> )	0 - 0.3
Hidrogen (H <sub>2</sub> )	1 - 5
Hidrogen Sulfida (H <sub>2</sub> S)	0 - 3
Oksigen (O <sub>2</sub> )	0,1 - 0,5

Dengan memperhitungkan komposisinya, maka *landfill* gas bisa digunakan untuk pemasok energi bagi pembangkit tenaga listrik karena mengandung 55 – 75 % metana, dimana metana adalah gas yang mudah terbakar.

### **2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)**

Pembangkit listrik tenaga sampah adalah pembangkit listrik *thermal* dengan uap *supercritical steam* dan berbahan bakar sampah atau gas methana. Sampah dibakar menghasilkan panas yang memanaskan uap pada *boiler steam supercritical*. Uap kompresi tinggi kemudian menggerakkan turbin uap dan *flywheel* yang tersambung pada generator dinamo dengan perantara gear transmisi atau transmisi otomatis sehingga menghasilkan listrik.

Pemanfaatan gas dari sampah untuk pembangkit listrik dengan teknologi fermentasi metana dilakukan dengan metode *sanitary landfill* yaitu memanfaatkan gas yang dihasilkan dari sampah (LFG). Sistem *sanitary landfill* dilakukan dengan cara memasukkan sampah ke dalam lubang, selanjutnya diratakan dan dipadatkan kemudian ditutup dengan tanah yang gembur, demikian seterusnya hingga membentuk lapisan-lapisan. Untuk memanfaatkan gas yang sudah terbentuk selanjutnya adalah memasang pipa-pipa penyalur untuk mengeluarkan gas. LFG yang dihasilkan dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Skema pembangkit listrik tenaga sampah ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.1 Skema pembangkit listrik tenaga sampah [5]

#### 2.4 Landfill Gas Emissions Model (LandGEM)

LandGEM (versi 3.02) adalah *tool* otomatis untuk mengestimasi tingkat emisi total LFG [6]. LandGEM dapat menggunakan data spesifik daerah yang diamati untuk mengestimasi tingkat emisi total gas atau menggunakan parameter *default* jika data spesifik tidak tersedia [7].

Model emisi metana LandGEM secara matematis menggunakan persamaan berikut [7]:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 K L_o \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-K t_{ij}} \quad (2.1)$$

TPA akan memproduksi metana 6 – 12 bulan setelah menerima sampah kemudian meningkat sampai nilai maksimum dalam waktu yang tidak terlalu lama setelah tahun penutupan TPA dan akhirnya berangsur-angsur menurun di atas periode 30 – 50 tahun [8]

dimana :

$Q_{CH_4}$  = emisi gas metana ( $m^3$ /tahun)

$n$  = total periode waktu penimbunan sampah

$K$  = laju pertumbuhan metana (/tahun)

$L_o$  = potensi produksi metana ( $m^3$ /ton)

$M_i$  = Massa sampah yang diterima pada tahun ke –  $i$  (ton)

$t_{ij}$  = waktu penimbunan sampah (tahun)

## 2.5 Potensi Energi Listrik

Untuk menghitung potensi listrik yang dihasilkan dari *landfill* digunakan rumus [9] :

$$E = \frac{LHV_{methane} \times 0,9 \times Q_{CH4} \times \lambda \times \eta}{3,6} \quad (2.2)$$

dimana,

E = energi listrik (kWh/tahun)

$LHV_{methane}$  = lower heating value of methane = 37.2 MJ/m<sup>3</sup>

$Q_{CH4}$  = tingkat emisi gas metana (m<sup>3</sup>/tahun)

$\lambda$  = efisiensi pengumpulan = 75 %

$\eta$  = efisiensi konversi listrik untuk mesin pembakaran dalam = 33 %

3,6 adalah faktor konversi dari MJ ke kWh

## 2.6 Pertumbuhan Penduduk

Pertumbuhan penduduk adalah perubahan jumlah penduduk baik penambahan maupun penurunannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi pertumbuhan penduduk yaitu kelahiran (natalitas), kematian (mortalitas) dan perpindahan penduduk (migrasi). Kelahiran dan kematian dinamakan faktor alami, sedangkan perpindahan penduduk dinamakan faktor non alami.

Untuk penambahan penduduk dinyatakan besarnya dengan angka, sedangkan pertumbuhan penduduk dinyatakan dengan persen (%) yang umumnya dihitung tiap tahun. Untuk menghitung pertumbuhan penduduk digunakan rumus:

$$P = (L - M) + (I - E) \quad (2.3)$$

Dimana:

P = Pertambahan Penduduk

L = Jumlah kelahiran (natalitas) dalam satu tahun

M = Jumlah kematian (mortalitas) dalam satu tahun

I = Jumlah penduduk yang masuk (imigrasi)

E = Jumlah penduduk yang keluar (emigrasi)

Jumlah penduduk diwaktu yang akan datang dapat diketahui dengan cara membuat perkiraan atau proyeksi. Ada beberapa cara untuk membuat proyeksi penduduk yaitu:

**a. Proyeksi penduduk aritmatik**

Dalam metode proyeksi ini, asumsinya adalah angka pertumbuhan penduduk dalam durasi waktu tertentu tetap konstan.

$$P_t = P + b.t \quad (2.4)$$

Dimana :

$P_t$  = Proyeksi penduduk di masa depan

$P$  = Penduduk tahun awal

$b$  = angka pertumbuhan penduduk tahunan

$t$  = waktu/periode

**b. Proyeksi penduduk geometrik**

Dalam metode proyeksi ini, pertumbuhan penduduk diasumsikan mengikuti deret geometri. Pertumbuhan diasumsikan konstan untuk jangka waktu tertentu [10].

$$P_n = P_o (1 + r)^n \quad (2.5)$$

Dimana :

$P_n$  = Proyeksi penduduk tahun tertentu

$P_o$  = Penduduk awal tahun

$1$  = konstanta

$r$  = angka pertumbuhan penduduk

$n$  = rentang tahun

atau

$$r = \left(\frac{P_t}{P_o}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 \quad (2.6)$$

**3. PEMBAHASAN****3.1 Profil Singkat TPA Makbon**

Wilayah TPA Makbon merupakan kawasan lereng-lereng yang curam dengan kedalaman mencapai 40 meter dengan luas 10 hektar. Metode pembuangan sampah di TPA Makbon adalah *open dumping* yaitu penumpukan sampah dilakukan di tempat terbuka. Metode *open dumping* memiliki kelemahan yaitu dapat menimbulkan pencemaran lingkungan yang berakibat buruk bagi kesehatan makhluk hidup yang berada di sekitar TPA. Oleh karena itu pemerintah kota Sorong telah merencanakan pengolahan sampah *sanitary landfill* dengan panjang kubangan 220 m, lebar 110 m, dan tinggi 8,2 m.

Tipe TPA makbon adalah konvensional (normal) dengan komposisi sampah seperti pada Tabel 3.1 dengan jumlah sampah per tahun ditunjukkan oleh Tabel 3.2 sebagai berikut :

**Tabel 3.1 Komposisi Sampah Kota Sorong**

Jenis Sampah	Persentase (%)
Organik	51,37

Plastik	22,26
Kertas/ karton	17,12
Kaca/ botol	6,84
Besi/ kaleng	0,68
B3	1,71

(Sumber : Dinas Kebersihan Kota Sorong)

**Tabel 3.2 Jumlah Sampah Kota Sorong Tahun 2008 - 2011**

Tahun	Jumlah Sampah Masuk (Ton/Tahun)
2008	3750
2009	3900
2010	4050
2011	4230

(Sumber : Dinas Kebersihan Kota Sorong)

### 3.2 Jumlah Penduduk kota Sorong

Jumlah penduduk kota Sorong berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) kota Sorong ditunjukkan dalam tabel berikut :

**Tabel 3.3 Jumlah Penduduk Kota Sorong Tahun 2010 - 2017**

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)
2010	190.625
2011	198.990
2012	205.584
2013	211.840
2014	218.799
2015	225.588
2016	232.833
2017	239.815

Berdasarkan tabel 3.3 di atas, dengan menggunakan rumus (2.6) dapat dihitung rata-rata laju pertumbuhan penduduk Kota Sorong per tahun adalah 3.335 %.

### 3.3 Estimasi Kapasitas Sampah TPA Makbon

Kapasitas sampah yang dapat ditampung oleh TPA Makbon untuk metode *sanitary landfill* adalah :

$V = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \times \text{tingkat pepadatan sampah}$

Berdasarkan Permen PU No. 13 tahun 2013, tingkat pepadatan sampah minimum  $600 \text{ kg/m}^3$ , dengan demikian :

$V = 220 \text{ m} \times 110 \text{ m} \times 8,2 \text{ m} \times 600 \text{ kg/m}^3$

$V = 119.064.000 \text{ kg} = 119.064 \text{ ton}$

### 3.4 Estimasi Sampah Per Tahun

Dari hasil wawancara dengan petugas di TPA, belum diketahui pasti kapan kubangan untuk *sanitary landfill* akan mulai digunakan. Oleh karena itu dalam penelitian ini diasumsikan TPA metode *sanitary landfill* mulai dioperasikan tahun 2020 dan ditutup saat sampah sudah memenuhi volume kubangan yaitu sekitar 119.064 ton. Jumlah sampah tiap tahun diestimasi dengan menggunakan metode regresi linier, dimana jumlah penduduk sebagai variabel bebas (X) dan jumlah sampah sebagai variabel terikat (Y). Berdasarkan data jumlah penduduk dari website BPS Kota Sorong tahun 2010 – 2017 maka jumlah penduduk sejak tahun TPA dengan metode *sanitary landfill* dibuka (diasumsikan tahun 2020) hingga tahun TPA ditutup dapat dihitung dengan rumus proyeksi geometrik (rumus 2.5).

Hasil estimasi jumlah penduduk, jumlah sampah per tahun, dan akumulasi sampah ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 3.4 Estimasi Jumlah Penduduk, Jumlah Sampah, dan Akumulasi Sampah TPA *Sanitary Landfill* Kota Sorong Tahun 2020 – 2035**

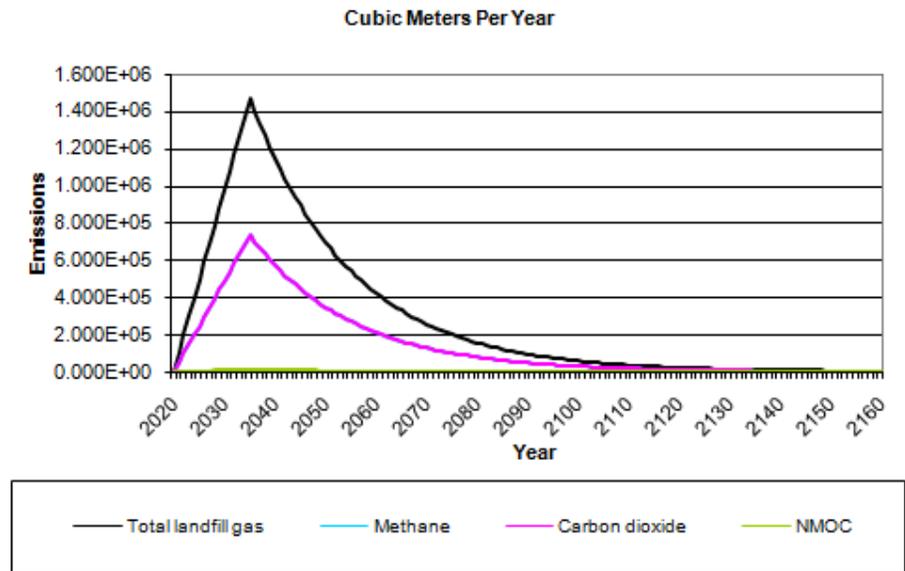
No	Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	Jumlah sampah (ton)	Akumulasi sampah TPA (ton)
1	2020	264.632	6.012,51	6.012,51
2	2021	273.456	6.241,95	12.254,46
3	2022	282.575	6.479,05	18.733,51
4	2023	291.998	6.724,04	25.457,55
5	2024	301.736	6.977,21	32.434,77
6	2025	311.797	7.238,82	39.673,59
7	2026	322.195	7.509,16	47.182,75
8	2027	332.939	7.788,51	54.971,26
9	2028	344.042	8.077,18	63.048,44
10	2029	355.515	8.375,47	71.423,90
11	2030	367.370	8.683,71	80.107,61
12	2031	379.621	9.002,22	89.109,83
13	2032	392.280	9.331,36	98.441,20
14	2033	405.361	9.671,48	108.112,68
15	2034	418.879	10.022,94	118.135,61
16	2035	432.847	10.386,11	128.521,72

Dari tabel di atas, dengan melihat akumulasi sampah maka dapat diperkirakan TPA Makbon metode *sanitary landfill* dapat beroperasi sampai tahun 2034 jika dibuka tahun 2020 karena kapasitas sampah untuk kubangan *sanitary landfill* yang ada maksimal 119.064 ton.

### 3.5 Estimasi LFG

Hasil estimasi LFG menggunakan *tool* LandGEM versi 3.02 dengan parameter *default* dapat dilihat pada gambar 4.1 dan tabel 4.5. Dapat dilihat bahwa satu tahun sejak mulai beroperasi landfill menghasilkan LFG dengan komposisi metana 49,80%, karbondioksida sama dengan metana 49,80%, dan NMOC 0,40%. Komposisi ini sama untuk tahun-tahun berikutnya.

Gas metana yang dihasilkan tahun 2021 sebesar  $4,997 \times 10^4$  m<sup>3</sup> dan mencapai volume maksimal pada tahun 2035 yaitu  $7,321 \times 10^5$  m<sup>3</sup>. Setelah tahun 2035 metana yang dihasilkan akan menurun. TPA akan terus mengemisikan gas metana sampai puluhan tahun dari tahun penutupan TPA, secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 3.1 Produksi LFG TPA Makbon metode *sanitary landfill* tahun 2020–2034 dengan LandGEM versi 3.02

Tabel 3.5 Estimasi LFG TPA Makbon Tahun 2021-2035

Tahun	Metana ( $m^3/year$ )	Karbondioksida ( $m^3/year$ )	NMOC (Nonmethane organic compound) ( $m^3/year$ )
2021	4.997E+04	4.997E+04	3.998E+02
2022	9.942E+04	9.942E+04	7.953E+02
2023	1.484E+05	1.484E+05	1.187E+03
2024	1.971E+05	1.971E+05	1.577E+03
2025	2.455E+05	2.455E+05	1.964E+03
2026	2.936E+05	2.936E+05	2.349E+03
2027	3.417E+05	3.417E+05	2.734E+03
2028	3.898E+05	3.898E+05	3.118E+03
2029	4.379E+05	4.379E+05	3.503E+03
2030	4.862E+05	4.862E+05	3.890E+03
2031	5.347E+05	5.347E+05	4.277E+03

2032	5.834E+05	5.834E+05	4.667E+03
2033	6.325E+05	6.325E+05	5.060E+03
2034	6.821E+05	6.821E+05	5.456E+03
2035	7.321E+05	7.321E+05	5.857E+03

### 3.6 Estimasi Energi Listrik

Dengan menggunakan rumus (2.2) energi listrik yang dihasilkan oleh PLTSa dari tahun 2021 – 2035 dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3.6 Estimasi Energi Listrik PLTSa TPA Makbon Tahun 2021 -2035**

Tahun	Metana ( $m^3/year$ )	Energi Listrik (kWh)
2021	$4.997E+04$	$1.150E+05$
2022	$9.942E+04$	$2.288E+05$
2023	$1.484E+05$	$3.416E+05$
2024	$1.971E+05$	$4.536E+05$
2025	$2.455E+05$	$5.650E+05$
2026	$2.936E+05$	$6.759E+05$
2027	$3.417E+05$	$7.866E+05$
2028	$3.898E+05$	$8.972E+05$
2029	$4.379E+05$	$1.008E+06$
2030	$4.862E+05$	$1.119E+06$
2031	$5.347E+05$	$1.231E+06$
2032	$5.834E+05$	$1.343E+06$
2033	$6.325E+05$	$1.456E+06$
2034	$6.821E+05$	$1.570E+06$
2035	$7.321E+05$	$1.685E+06$

Berdasarkan tabel 3.6 di atas, energi listrik maksimal dapat diperoleh pada tahun 2035 yaitu sebesar  $1,685 \times 10^6$  kWh.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. TPA Makbon Kota Sorong model *sanitary landfill* dengan ukuran kubangan panjang 220 m, lebar 110 m, dan tinggi 8,2 m dapat beroperasi sekitar 14 tahun jika diasumsikan tahun 2020 sudah mulai menerima sampah.
2. Satu tahun sejak mulai beroperasi landfill sudah menghasilkan metana dan akan terus meningkat tiap tahun hingga mencapai maksimal. Setelah mencapai nilai maksimalnya, emisi gas metana akan berangsur-angsur turun dalam waktu puluhan tahun.
3. Emisi maksimal gas metana sebesar  $7,321 \times 10^5 \text{ m}^3$  terjadi pada tahun 2035, satu tahun setelah penutupan TPA.
4. Energi listrik maksimal yang dihasilkan landfill adalah  $1,685 \times 10^6 \text{ kWh}$ .
5. Total energi listrik yang dihasilkan dari tahun 2021 – 2035 adalah  $13,48 \times 10^6 \text{ kWh}$ .

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Couth, R. C., Trois, S., Vaughan, J. 2011. Modelling of green houses gas emissions from municipal solid waste disposal in Africa. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 5, 1443-1453.
- [2] Amini, A., Nematollahi, H., Banestani, N.M. 2017. Estimation and Modelling of Biogas Production in Rural Small Landfills (Case Study:Chaharmahaal and Bakhtiari and Yazd Rural Areas). *Environmental Energy and Economic Research*. 1 : 4, 383-392.
- [3] Kalantarifard, A., Yang, G. S. 2012. Estimation of Methane Production by LANDGEM Simulation Model From Tanjung Langsat Municipal Solid Waste Landfill, Malaysia. *International Journal of Science and Technology*. 1 : 9, 481-487
- [4] Destilia, A. , Pertiwi, M. B., Bahrin, D. 2012. Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal Terhadap Komposisi Biogas Dari Sampah Organik . *Jurnal Teknik Kimia* 18 : 1, 19
- [5] Alan Nazlie Haq. 2012. Studi Potensi Pembangkit Listrik Listrik Tenaga Sampah di Kota Banjarmasin.
- [6] Rodrigue, K. A., et all. 2018. Estimation of Methane Emission from Kossihouen Sanitary Landfill and Its Electricity Generation Potential. *Journal of Power and Energy Engineering*. 6, 22-31
- [7] US EPA. 2005. Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. [Online] Tersedia di <http://www.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf> [diakses pada 1 Mei 2019]
- [8] Falzon, J. 1997. Landfill Gas: An Australian Perspective. Sixth International Landfill Symposium. Sardinia, Italy. 2, pp 487-496
- [9] Ayodele, T.R., Ogunjuyigbe, A.S.O. and Alao, M.A. 2017. *Life Cycle Assessment of Waste-to-Energy (WiE) Technologies for Electricity Generation Using Municipal Solid Waste in Nigeria*. *Applied Energy*, 201, 200-218.
- [10] <https://www.rumusstatistik.com/2013/09/laju-pertumbuhan-penduduk-geometrik.html> [diakses pada 10 Juni 2019]