

## Analisis Potensi Sampah di Kuantan Singingi untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Landfill Gas (LFG)

Boy Ihsan <sup>a,1</sup>, Dicky Pangindra <sup>a,2</sup>, Iswadi Hasyim Rosma <sup>a,3\*</sup>

<sup>a</sup>Universitas Riau, Jl. HR. Soebrantas KM.12,5, Kampus Binawidya, Simpang Baru, Pekanbaru, Indonesia 28293

<sup>1</sup>boy.ihsan@lecturer.unri.ac.id; <sup>2</sup>dickypangindra@gmail.com; <sup>3</sup>iswadi.hr@lecturer.unri.ac.id\*

\* Penulis Koresponden

### INFO ARTIKEL

#### Histori Artikel

Pengajuan 2025-05-15

Diperbaiki 2025-06-08

Diterima 2025-06-14

#### Kata Kunci

Landfill gas, PLTSa, Sampah, Sanitary landfill, TPA Muaro Sentajo

### ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi persoalan sampah sekaligus pemenuhan kebutuhan listrik. Studi ini menganalisis kelayakan teknis dan ekonomi pembangunan PLTSa di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Muaro Sentajo, Kabupaten Kuantan Singingi, yang menggunakan metode *sanitary landfill*. Sampah organik menghasilkan *landfill gas* (LFG), terutama metana, yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar *gas engine* untuk pembangkit listrik. Estimasi kandungan LFG dihitung menggunakan model U.S *Environmental Protection Agency* (EPA) dan *software Landfill Gas Emmisions Model* (LandGEM). Hasilnya menunjukkan bahwa hingga akhir masa operasinya, TPA ini dapat menghasilkan 2.966.400 m<sup>3</sup> gas metana yang mampu mengoperasikan pembangkit listrik dengan *output* sebesar 2,39 MW. Hasil analisis menunjukkan bahwa proyek ini layak secara finansial, dengan nilai *Net Present Value* (NPV) sebesar Rp13.8 miliar, *Benefit-Cost Ratio* (BCR) sebesar 1,1648, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 14.2%, dan *Payback Period* selama 11 tahun 8,3 bulan.

### ABSTRACT

#### Keyword

Landfill gas, Sanitary landfill, TPA Muaro Sentajo, Waste, Waste to Energy

*Waste Power Plant (PLTSa) is one of the solutions to overcome waste problems and as electricity supply. This study analyzes the technical and economic feasibility of building a PLTSa at the Muaro Sentajo Landfill, Kuantan Singingi Regency, which uses the sanitary landfill method. The organic waste produces landfill gas (LFG), especially methane, which can be used as fuel for power generation. The estimated LFG content was calculated using the U.S. Environmental Protection Agency model and Landfill Gas Emmisions Model (LandGEM) software. The results show that by the end of the operation period, the landfill can produce 2,966,400 m<sup>3</sup> of methane gas capable of operating a power plant with output of 2.39 MW. The analysis shows that the project is financially feasible, with a Net Present Value (NPV) of Rp13.8 billion, Benefit-Cost Ratio (BCR) of 1,1648, Internal Rate of Return (IRR) of 14.2%, and Payback Period of 11 years 8.3 months.*

Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).



## 1. Pendahuluan

Kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan setiap tahun dan diproyeksikan akan mencapai 1.813 TWh di tahun 2060 [1], [2]. Peningkatan kebutuhan energi listrik ini didorong oleh pertumbuhan penduduk, aktivitas ekonomi, dan perkembangan wilayah. Selanjutnya, peningkatan jumlah penduduk juga berdampak pada bertambahnya volume sampah, yang jika tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan gangguan lingkungan dan sosial [3], [4]. Kabupaten Kuantan Singingi, dengan luas 7.656,03 Km<sup>2</sup> dan kepadatan penduduk 41,53 jiwa/Km<sup>2</sup>, memiliki sumber-sumber timbulan sampah yang cukup banyak. Timbulan sampah umumnya didominasi oleh sampah rumah tangga dan sampah pasar tradisional. Data Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kuantan Singingi menunjukkan bahwa 6.355 ton sampah masuk ke TPA Muaro Sentajo pada tahun 2018, namun hanya 10% yang berhasil dikelola [5].

Sampah organik yang ditimbun di TPA akan mengalami proses dekomposisi secara anaerobik sehingga mengeluarkan *landfill gas* (LFG). LFG mengandung berbagai senyawa seperti gas metana, karbon dioksida, nitrogen, oksigen, hydrogen, argon, hydrogen sulfida, klorin, dan florin. Komponen utama LFG adalah gas metana, yang menyumbang 40–60% dari total kandungan. Metana merupakan gas yang mudah terbakar dan berpotensi memicu ledakan. Selain itu, gas ini juga berkontribusi signifikan terhadap pemanasan global. Emisi yang dihasilkan gas metana setara dengan 23 kali lebih besar daripada karbondioksida [6], [7]. Namun, gas metana dalam LFG juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan melalui Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) sehingga mampu mengurangi dampak lingkungan [8], [9].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji potensi LFG untuk PLTSa di berbagai lokasi di Indonesia. Rajagukguk [10] menunjukkan bahwa TPA Bantar Gebang, Bekasi, memiliki potensi untuk pembangunan PLTSa hingga kapasitas 200 MW. Sementara itu, Allo dan Widjasena [11] menggunakan metode prediktif dengan menggunakan LandGEM untuk mengestimasi potensi pembangkitan energi listrik di TPA Makbon, Kota Sorong. Hasilnya menunjukkan bahwa gas metana dari *sanitary landfill* di TPA Makbon dapat mencapai 732.100 m<sup>3</sup> pada tahun ke-15 operasi, dengan potensi energi listrik sebesar 1,69 GWh.

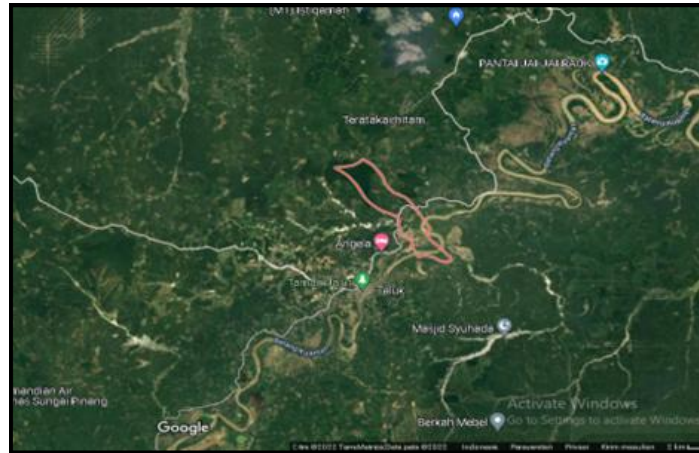
Pendekatan yang lebih komprehensif, termasuk analisis keekonomian, dilakukan oleh Nur Afifah Thohiroh et al. [12] di TPST Bantar Gebang yang melayani kawasan metropolitan dengan jumlah penduduk yang besar. Studi tersebut menunjukkan bahwa pembangunan PLTSa berkapasitas 4,16 MW di lokasi tersebut layak secara ekonomi, dengan nilai *Net Present Value* (NPV) sekitar Rp19 miliar, *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 23%, dan periode pengembalian investasi (*payback period*) selama tujuh tahun. Pada konteks daerah dengan populasi yang lebih kecil, Mukti et al. [13] melakukan studi kelayakan pengembangan PLTSa di TPA Kebon Kongok, Lombok Barat. Dengan menggunakan LandGEM, TPA ini memiliki potensi LFG sebesar 7,1 juta m<sup>3</sup>/tahun dan menghasilkan energi sekitar 64 GWh/tahun. Kajian ini juga menunjukkan menyatakan bahwa PLTSa layak untuk dibangun di TPA Lombok dengan IRR sebesar 4,27% dan *payback period* 7,6 tahun. Studi ini juga menunjukkan kelayakan ekonomi proyek dengan IRR sebesar 4,27% dan *payback period* selama 7,6 tahun. Namun, salah satu keterbatasan kajian tersebut adalah penggunaan *discount rate* yang terlalu rendah, yang berpotensi mengurangi akurasi dalam penilaian keekonomian proyek.

Berbeda dari studi terdahulu yang umumnya berfokus pada wilayah perkotaan berskala besar, kajian ini menghadirkan pendekatan teknis dan ekonomis untuk pengembangan PLTSa berbasis *landfill gas* di Kabupaten Kuantan Singingi. Dengan memanfaatkan data lokal, simulasi berbasis LandGEM, serta evaluasi kelayakan ekonomi, studi ini diharapkan dapat menjadi kajian awal yang relevan untuk mendorong implementasi teknologi PLTSa di daerah non-metropolitan dan memperluas penerapan energi terbarukan di tingkat lokal.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian beralangsur sejak bulan Maret sampai April 2022 berlokasi di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Muaro Sentajo dan Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kuantan Singingi. TPA Muaro Sentajo memiliki luas lahan 10 Ha yang sudah beroperasi sejak tahun 2010.



Gambar 1. Letak geografis TPA Muaro Sentajo

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, mulai tahun 2020, pengelolaan sampah di TPA Muaro Sentajo menggunakan sistem *sanitary landfill* atau saniter terkendali. Secara geografis, penelitian ini berposisi pada garis lintang  $-0.4896267$  dan pada garis bujur  $101.5788103$ .

### 2.2. Pengambilan data

Dalam pelaksanaan penelitian ini, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan antara lain: data timbulan sampah, komposisi sampah, iklim dan temperatur di sekitar TPA, waktu penimbunan sampah, dan perhitungan LFG. Perhitungan LFG menggunakan *software Landfill Gas Emmisions Model* (LandGEM) versi 3.02 [14], [15].

Data jumlah penduduk Kabupaten Kuantan Singingi dari tahun 2012-2021 yang bersumber dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Kuantan Singingi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data jumlah penduduk kuansing 2012-2021

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)
2012	302.631
2013	306.718
2014	310.619
2015	314.276
2016	317.935
2017	321.216
2018	324.413
2019	333.140
2020	330.077
2021	334.475

Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kuantan Singingi mencatat sampah yang masuk ke TPA perharinya sebesar 20 ton. Data ini didapat dari jembatan timbangan sampah yang ada di TPA. Data timbulan sampah yang masuk ke TPA Muaro Sentajo pertahunnya dapat dilihat pada Tabel 2 [16].

**Tabel 2.** Timbulan sampah TPA Muaro Sentajo 2018-2021

Tahun	Timbulan Sampah (kg)
2018	42.921.900
2019	47.788.140
2020	48.784.730
2021	49.503.052

### 2.3. Analisis Teknis Pembangunan PLTSa LFG

Analisis teknis yang dilakukan meliputi estimasi jumlah timbulan sampah, estimasi LFG yang dapat diproduksi TPA, kandungan gas metana, jenis pembangkit, serta proyeksi produksi energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit tersebut.

Pertumbuhan penduduk merupakan salah satu faktor yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan sistem pengelolaan sampah di suatu daerah selama periode perencanaan. Perhitungan proyeksi penduduk menggunakan metode regresi linier. Metode ini dipilih karena memiliki nilai korelasi yang paling mendekati dengan nilai 1 (satu) atau yang paling besar nilainya, dibandingkan metode aritmatik dan geometri [17]. Hasil proyeksi ini menjadi dasar perhitungan volume sampah yang akan masuk ke TPA.

Analisis produksi LFG yang dihasilkan oleh TPA Muaro Sentajo dihitung menggunakan *Landfill Gas Emmissions Model* (LandGEM version 3.0). Parameter model untuk kebutuhan analisis dalam LandGEM menggunakan pilihan standar yang telah disediakan oleh LandGEM dan disesuaikan dengan kondisi lokasi penelitian.

Pemilihan teknologi yang tepat dibutuhkan untuk memastikan pembangunan PLTSa sesesuai dengan kriteria dan kelayakan yang diharapkan. Dalam penelitian ini, teknologi *gas engine* atau mesin pembakaran internal dipilih karena memiliki nilai efisiensi yang tinggi dan biaya yang relatif rendah. Estimasi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh pembangkit yang dipilih dihitung berdasarkan nilai kalor gas metana serta efisiensi konversi energi dari *gas engine* yang digunakan.

### 2.4. Analisis Kelayakan Pembangunan PLTSa LFG

Analisis kelayakan pembangunan PLTSa LFG dimulai dengan menghitung biaya investasi pembangunan, biaya operasi dan pemeliharaan, nilai depresiasi, hingga hasil pendapatan dari penjualan listrik ke PLN. Menghitung biaya investasi mencakup pembelian komponen peralatan, biaya pengerjaan, biaya pengawasan dan biaya tak terduga lainnya. Penentuan biaya investasi tersebut dihitung menggunakan pedoman dari *LFG Energi Project Development Handbook EPA*. 2016 [18]. Selebihnya disesuaikan dengan kondisi dan keadaan di TPA Muaro Sentajo.

Kelayakan finansial proyek Pembangunan PLTSa Muaro Sentajo ini dinilai menggunakan empat metrik utama: *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Period* (PBP) [19]. NPV, seperti yang ditunjukkan dalam Persamaan (1), menghitung nilai sekarang dari arus kas masa depan ( $C_1, C_2, \dots, C_t$ ) yang didiskon pada tingkat  $i$ , dikurangi arus kas keluar awal ( $CoF$ ). NPV positif menunjukkan investasi yang menguntungkan. IRR, yang didefinisikan dalam Persamaan (2), merupakan *discount rate* yang membuat NPV sama dengan nol. Nilai IRR diperoleh secara iteratif dengan membandingkan dua tingkat diskonto ( $i_1$  dan  $i_2$ ) serta NPV yang sesuai ( $NPV_1$  dan  $NPV_2$ ). BCR, diberikan dalam Persamaan (3), mengukur rasio total manfaat yang didiskon terhadap total biaya investasi, di mana BCR lebih besar dari 1 menandakan investasi yang menguntungkan. Terakhir, PBP, seperti diuraikan dalam Persamaan (4), menentukan waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal dengan

menjumlahkan tahun sebelum arus kas kumulatif menjadi positif dan menambahkan sisa investasi yang belum kembali dibagi arus kas pada tahun berikutnya.

$$NPV = -CoF + \frac{C_1}{(1+i)^1} + \frac{C_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (1)$$

$$IRR = i_1 + \left( \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_1 - i_2) \quad (2)$$

$$BCR = \frac{\sum_1^N C_i}{\text{Investmen Cost}} \dots\dots\dots \quad (3)$$

$$PBP = \text{Tahun sebelum arus kas positif kumulatif} + \frac{\text{Sisa Investasi yang Belum Kembali}}{\text{Arus kas pada tahun berikutnya}} \quad (4)$$

**3. Hasil dan Analisis**

Penelitian ini menganalisis kelayakan teknis dan ekonomis pembangunan PLTSA berbasis LFG di TPA Muaro Sentajo dengan periode analisis selama 15 tahun (2022-2037). Pemilihan rentang waktu ini didasarkan pada asumsi bahwa lahan timbunan sampah baru yang dibangun khusus untuk proyek pembangkit ini memiliki usia operasional 15 tahun, mengingat TPA baru tersebut diperkirakan hanya dapat menampung sampah dalam jangka waktu tersebut.

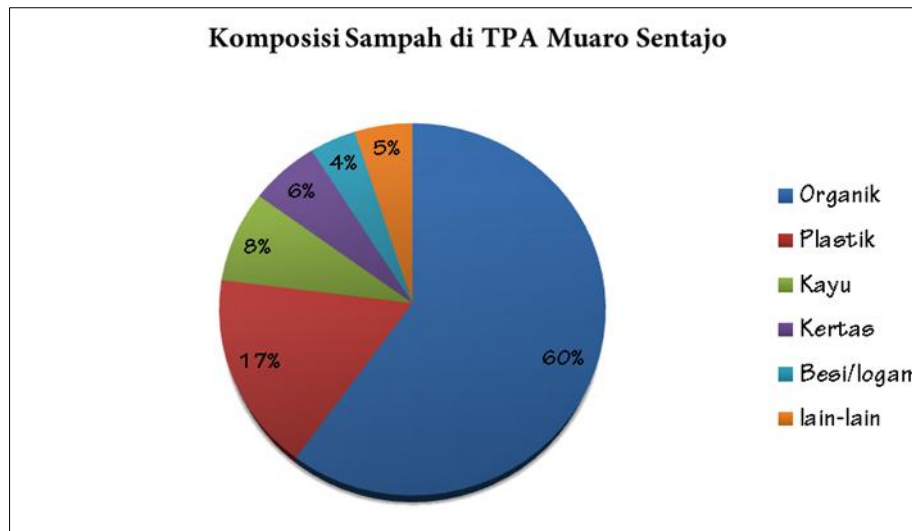
**3.1. Estimasi Jumlah Penduduk dan Timbulan Sampah**

Proyeksi pertambahan jumlah penduduk dan timbulan sampah dihitung menggunakan metode regresi linier. Sehingga didapat hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Estimasi jumlah penduduk dan timbulan sampah Kabupaten Kuansing

Tahun	Jumlah Penduduk (jiwa)	Jumlah Sampah Masuk (Ton)	Sampah Organik (Ton)
2022	338.300	52.434	31.461
2023	341.425	54.508	32.705
2024	344.550	56.582	33.950
2025	347.675	58.656	35.194
2026	350.800	60.730	36.438
2027	353.925	62.804	37.683
2028	357.050	64.878	38.927
2029	360.175	66.952	40.171
2030	363.300	69.026	41.416
2031	366.425	71.100	42.660
2032	369.550	73.174	43.905
2033	372.675	75.248	45.149
2034	375.800	77.322	46.393
2035	378.925	79.396	47.638
2036	382.050	81.470	48.882
2037	385.175	83.544	50.127

Dari Tabel 3 di atas, sampah organik yang dapat digunakan hanya 60% dari total seluruh sampah masuk. Presentase ini didapatkan dari diagram Gambar 2, yang menyebutkan komposisi sampah yang masuk ke TPA Muaro Sentajo didominasi oleh sampah organik.



Gambar 2. Komposisi sampah TPA Muaro Sentajo

### 3.2. Potensi Energi Listrik yang Dihasilkan TPA Muaro Sentajo

Setelah menghitung estimasi volume sampah yang masuk ke TPA Muaro Sentajo, tahapan selanjutnya adalah menghitung produksi LFG. Pada penelitian ini menggunakan *software Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) version 3.02* [18]. Perhitungan LFG pada *software LandGEM* menggunakan parameter *Default CAA-Konvensional*. Sementara nilai *k* ditetapkan 0,05 per tahun dan nilai *Lo* 170 m<sup>3</sup>/Mg. Penentuan nilai *k* dan *Lo* merujuk iklim Kabupaten Kuantan Singingi yang memiliki temperatur rata-rata 31°C dan curah hujan berkisar 44,49 – 433,19 mm pertahun. Total LFG yang diproduksi TPA Muaro Sentajo dihitung menggunakan LandGEM disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Potensi produksi LFG TPA Muaro Sentajo

Tahun ke-	Tahun	Estimasi Sampah Masuk (ton/tahun)	Total Landfill Gas (m3/tahun)	Gas Metana (m3/tahun)
0	2022	31.461	0	0
1	2023	32.705	787.200	393.660
2	2024	33.950	1.516.800	758.400
3	2025	35.194	2.194.800	1.097.400
4	2026	36.438	2.827.800	1.413.600
5	2027	37.683	3.420.000	1.710.000
6	2028	38.927	3.976.200	1.987.800
7	2029	40.171	4.500.600	2.250.600
8	2030	41.416	4.997.400	2.498.400
9	2031	42.660	5.468.400	2.734.200
10	2032	43.905	5.917.800	2.959.200
11	2033	45.149	6.348.000	3.174.000
12	2034	46.393	6.762.000	3.379.800
13	2035	47.638	7.158.000	3.578.400
14	2036	48.882	7.542.000	3.769.800
15	2037	50.127	7.908.000	3.955.200

Produksi LFG yang dihasilkan oleh TPA Muaro Sentajo setiap tahunnya terus meningkat. Hal ini disebabkan masih adanya aktivitas penimbunan sampah yang jumlahnya terus terakumulasi.

**Tabel 5.** Potensi produksi gas metana TPA Muaro Sentajo

Tahun	Aliran Gas Metana		
	m <sup>3</sup> /tahun	m <sup>3</sup> /hari	m <sup>3</sup> /jam
2022	0	0	0
2023	295.245	809	33,70
2024	568.800	1.558	64,93
2025	823.050	2.255	93,95
2026	1.060.200	2.905	121,07
2027	1.282.500	3.514	146,4
2028	1.490.850	4.085	170,20
2029	1.687.950	4.625	192,70
2030	1.873.800	5.134	213,9
2031	2.050.650	5.618	234,10
2032	2.219.400	6.081	253,35
2033	2.380.500	6.522	271,75
2034	2.534.850	6.945	289,38
2035	2.683.800	7.352	306,38
2036	2.827.350	7.746	322,75
2037	2.966.400	8.127	338,63

Berdasarkan buku panduan atau handbook yang dikeluarkan oleh U.S EPA, peralatan yang digunakan untuk mengumpulkan LFG (*collection system*) memiliki efisiensi 60 sampai 95 persen. Namun, U.S EPA merekomendasikan nilai efisiensi collection system sebesar 75 persen. Dengan nilai efisiensi itu, maka didapatlah hasil perhitungan potensi gas metana seperti pada Tabel 5. Dari tabel tersebut, dapat dilihat bahwa potensi gas metana di TPA Muaro Sentajo pada tahun 2037, pada akhir tahun operasionalnya, diperkirakan mencapai 2.966.400 m<sup>3</sup>/tahun.



**Gambar 3.** Gas engine Jenbacher J320 GS

Berikut spesifikasi dari gas engine Jenbacher J320 GS [20]:

- Electrical Output : 1067 kWe
- Electrical Efficiency : 40,8%
- Combustion : Lean burn principle
- Speed : 500 rpm (50 Hz)
- Dimensions : 5,7 m (panjang) x 1,8 m (lebar) x 2,3 m (tinggi)
- Weight : 10.500 kg

Teknologi konversi yang dipilih pada penelitian ini adalah *gas engine*. Teknologi *gas engine* yang digunakan adalah tipe Jenbacher J320 GS. Mesin jenis ini dipilih lantaran memiliki nilai efisiensi yang relatif tinggi diantara teknologi lainnya. Selain itu, biaya investasi yang dikeluarkan relatif lebih murah [21], [22]. Gas engine Jenbacher J320 GS dapat dilihat pada Gambar 3.

**Tabel 6.** Energi yang dibangkitkan TPA Muaro Sentajo

Tahun	Energi Pertahun (kWh)	Daya Perjam (kW)
2022	0	0
2023	2.051.165	237
2024	3.951.643	457
2025	5.718.003	662
2026	7.365.563	852
2027	8.909.955	1.031
2028	10.357.432	1.199
2029	11.726.751	1.357
2030	13.017.913	1.507
2031	14.246.549	1.649
2032	15.418.912	1.785
2033	16.538.127	1.914
2034	17.610.448	2.038
2035	18.645.253	2.158
2036	19.642.543	2.273
2037	20.608.570	2.385

Konversi energi gas metana menjadi energi listrik didasarkan pada potensi panas yang dimiliki 1 Kg gas metana setara dengan  $6,13 \times 10^7$  J/m<sup>3</sup> gas metana [23] dan efisiensi pembangkit *gas engine* sebesar 40.8%. Dengan nilai tersebut, maka 1 m<sup>3</sup> gas metana dapat menghasilkan 6.95 kWh energi listrik. Sehingga, listrik yang dihasilkan oleh TPA Muaro Sentajo setiap tahunnya disajikan pada Tabel 6. Dengan jumlah energi tersebut, TPA Muaro Sentajo dapat mengoperasikan pembangkit listrik dengan *output* hingga 2,39 MW secara berkelanjutan di tahun ke 15 atau di akhir masa operasinya.

### 3.3. Analisis Kelayakan Pembangunan PLTSa LFG

Perhitungan biaya investasi disesuaikan dengan situasi dan kondisi yang ada di TPA Muaro Sentajo. Perhitungan biaya mencakup modal pembelian peralatan, utilitas, biaya perancangan dan pengawasan, dan biaya tidak terduga lainnya. Penentuan harga biaya ini mengacu pada *Landfill Gas Energy Cost Model (LFGcost-Web) Version 3.5* [24]. Elemen biaya yang diperlukan pada proyek PLTSa LFG di TPA Muaro Sentajo dapat dihitung sebagai berikut.

#### 1) Collection System

Lahan TPA Muaro Sentajo yang digunakan untuk proyek PLTSa LFG seluas 2,5 Ha atau 6 Acre. Dengan lahan seluas itu maka diperlukan 6 sumur pengumpul gas. Sehingga biaya investasi sistem pengumpul gas dan *flare* adalah:

- Biaya pemasangan sumur gas vertikal:  
(\$24.000 x 6 Acre)
- Biaya pemasangan kepala sumur dan sistem pemipaan gas  
(\$17.000 x jumlah sumur gas)
- Biaya pemasangan blower, tangki kondensator, dan sistem flare  
((ft<sup>3</sup>/min)<sup>0,61</sup> x \$4.600)
- Biaya teknik, survei, dan perizinan  
(\$700 x jumlah sumur gas)
- Biaya pengeboran sumur dan upah pekerja (\$30.000)

## 2) Gas Engine dan Instalasi

Tipe *gas engine* yang digunakan adalah mesin Janbacher J320 GS. Dari hasil perhitungan potensi listrik yang dihasilkan TPA Muaro Sentajo, diperlukan kapasitas daya sebesar 3 MW.

- Biaya pembelian gas engine dan interkoneksi  
 (\$1.300 x kapasitas daya kw) + \$250.000 (biaya interkoneksi)

## 3) Capping dan Instalasi

Pemasangan capping dan instalasinya membutuhkan biaya sekitar \$5/m<sup>2</sup>. Semetara lahan di TPA Muaro Sentajo yang digunakan seluas 2,5 Ha. Sehingga luasan capping yang dibutuhkan sebanyak 25.000 m<sup>2</sup>. Maka biaya yang harus dikeluarkan untuk pemasangan capping dapat dihitung sebagai berikut:

- Biaya capping dan instalasi = 25.000 m<sup>2</sup> x \$5

## 4) Mesin Pemilah Sampah Otomatis

Biaya pembelian mesin pemilah sampah secara otomatis dapat dihitung sebagai berikut:

- Biaya pembelian mesin pemilah sampah otomatis \$630.000

Secara rinci besaran biaya investasi yang dibutuhkan untuk PLTSa LFG di TPA Muaro Sentajo dapat dilihat pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Biaya investasi proyek

Nama Komponen	Jumlah	Satuan	Biaya (Rp)
Sitem Pengumpul Gas	6	Acre	7.003.696.000
Gas Engine dan Instalasi	3000	kW	58.100.000.000
Capping dan Instalasi	25.000	m <sup>2</sup>	1.750.000.000
Mesin Pemilah Sampah Otomatis	1	Unit	8.820.000.000
Pajak	11%	-	8.324.106.560
Total (Rp)			83.997.802.560

Untuk menghitung pendapatan dari hasil penjualan listrik, pedoman yang digunakan adalah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya mineral (ESDM) Nomor 44 Tahun 2015 tentang Pembelian Tenaga Listrik oleh PT. Perusahaan Listrik Negara (Persero) Dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota. Dalam peraturan tersebut, PLN wajib membeli listrik dari TPA dengan pengelolaan sanitary landfill sebesar 16,55 cent USD/kWh untuk tegangan tinggi dan menengah. Sementara tegangan rendah dihargai 20,16 cent USD/kWh [25]

PLTSa TPA Muaro Sentajo direncanakan akan terkoneksi pada tegangan rendah. Sehingga harga penjualan akan didapat 20,16 cent USD/kWh. Sementara nilai tukar Rupiah terhadap Dollar Amerika Serikat diasumsikan berada pada nilai Rp14.000. Maka harga listrik tegangan rendah yang akan dijual dihargai Rp2.822/kWh.

Energi listrik yang dihasilkan TPA Muaro Sentajo hanya akan dijual ke PLN sebanyak 80 persen. Sisanya sebanyak 20 persen akan digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di TPA. Pendapatan dari penjualan listrik PLTSa dihitung menggunakan persamaan (5). Hasil perhitungan pendapatan penjualan listrik yang terjual dapat dilihat pada Tabel 8.

$$\text{Pendapatan} = \text{Listrik yang Dibangkitkan (kWh)} \times \text{Rp}2.822 \quad (5)$$

**Tabel 8.** Hasil pendapatan penjualan listrik

Tahun	Energi yang Dibangkitkan (kWh)	Energi yang Dijual ke PLN (kWh)	Hasil Penjualan Listrik ke PLN (Rupiah)
2022	0	0	0
2023	2.051.165	1.640.932	4.630.711.075
2024	3.951.643	3.161.315	8.921.229.688
2025	5.718.003	4.574.402	12.908.962.896
2026	7.365.563	5.892.450	16.628.494.577
2027	8.909.955	7.127.964	20.115.114.408
2028	10.357.432	8.285.946	23.382.938.257
2029	11.726.751	9.381.401	26.474.313.735
2030	13.017.913	10.414.331	29.389.240.840
2031	14.246.549	11.397.239	32.163.009.248
2032	15.418.912	12.335.129	34.809.734.828
2033	16.538.127	13.230.502	37.336.475.515
2034	17.610.448	14.088.358	39.757.347.179
2035	18.645.253	14.916.203	42.093.523.624
2036	19.642.543	15.714.034	44.345.004.851
2037	20.608.570	16.486.856	46.525.906.729

Tabel 8 menyajikan proyeksi energi yang dibangkitkan, energi yang dijual ke PLN, dan pendapatan dari penjualan listrik selama masa operasi PLTSa. Pada tahun ke-0 (2022), PLTSa belum membangkitkan energi listrik karena sistem masih dalam tahap konstruksi. Pembangkitan energi baru dimulai pada tahun operasional pertama (2023) dan mengalami peningkatan setiap tahun. Peningkatan ini disebabkan oleh bertambahnya *volume* timbunan sampah di TPA, yang menghasilkan lebih banyak gas metana yang dapat digunakan sebagai bahan bakar PLTSa. Semakin besar *volume* sampah, semakin tinggi energi yang dihasilkan dan dijual ke PLN, sehingga pendapatan pun meningkat secara bertahap. Pada tahun pertama operasi, PLTSa mampu membangkitkan sekitar 2 GWh energi listrik, dengan 1,6 GWh (80% dari energi yang dibangkitkan) dijual ke PLN, menghasilkan pendapatan sekitar 4,63 miliar rupiah. Dengan peningkatan jumlah sampah dan produksi gas metana, pada tahun ke-15 (2037) operasi PLTSa diproyeksikan dapat menghasilkan hingga 20,6 GWh energi listrik, menjual 16,4 GWh ke PLN, dan memperoleh pendapatan sekitar 46,53 miliar rupiah.

**Tabel 9.** Hasil analisis kelayakan ekonomi pembangunan PLTSa

Parameter Evaluasi	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan Investasi	Penilaian Kelayakan Investasi (Layak/Tidak Layak)
NPV	Rp13.840.475.633	NPV > 0	Layak
BCR	1,1648	BCR > 1	Layak
IRR	14,2%	IRR > WACC	Layak
PBP	11 Tahun 8,3 Bulan	PBP < Umur ekonomis proyek	Layak

Perhitungan mencari nilai kelayakan investasi meliputi: *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Benefit-Cost Ratio* (BCR), dan *Payback Period* (PBP), selanjutnya perhitungan tersebut dianalisis untuk memastikan apakah kelanjutan investasi dapat dilakukan atau tidak. Berdasarkan hasil studi kelayakan investasi pada Tabel 9 yang menggunakan metode *cash flow* dengan *discount rate* 12% (berdasarkan *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) pembangkit EBT[22]), pembangunan PLTSa LFG TPA Muaro Sentajo ini dinilai layak untuk dilaksanakan. Hal ini dibuktikan dengan nilai NPV yang positif sebesar Rp13,8 miliar, rasio BCR yang lebih besar dari satu yaitu 1,1648, tingkat pengembalian investasi atau IRR mencapai 14.2% yang melebihi

WACC pembangkit 12%, serta waktu pengembalian modal atau *Payback Period* selama 11 tahun 8,3 bulan yang masih berada di bawah batas maksimal 15 tahun umur ekonomis yang ditetapkan. Seluruh indikator menunjukkan bahwa proyek ini layak secara finansial.

Analisis ini dilakukan dengan asumsi bahwa pembangkit akan berhenti beroperasi seiring dengan berakhirnya masa operasional TPA. Namun, dalam praktiknya, meskipun TPA tidak lagi menerima sampah baru karena kapasitasnya telah penuh, proses dekomposisi sampah yang telah tertimbun akan tetap menghasilkan gas metana selama beberapa tahun ke depan. Jika potensi ini turut dipertimbangkan, maka pembangkit berpeluang untuk terus beroperasi hingga mencapai usia teknis generator, yaitu sekitar 25 tahun. Dengan masa operasi yang lebih panjang tersebut, manfaat finansial yang diperoleh dari proyek ini berpotensi menjadi jauh lebih besar dibandingkan hasil analisis pada skenario konservatif yang sudah dilakukan.

#### 4. Simpulan

Studi ini menunjukkan bahwa pembangunan PLTSa berbasis *Landfill Gas* (LFG) di TPA Muaro Sentajo layak untuk direalisasikan baik dari sisi teknis maupun ekonomis. Dengan potensi produksi gas metana sebesar 2.966.400 m<sup>3</sup> di tahun ke 15 PLTSa ini beroperasi, pembangkit listrik dapat dioperasikan dengan daya *output* sebesar 2,39 MW secara berkelanjutan. Hasil analisis ekonomis menunjukkan bahwa pembangunan ini memenuhi seluruh kriteria kelayakan, dengan nilai NPV yang positif sebesar Rp13,8 miliar, rasio BCR yang lebih besar dari satu yaitu 1,1648, tingkat pengembalian investasi atau IRR mencapai 14.2% yang melebihi WACC Pembangkit, 12%, serta waktu pengembalian modal atau *Payback Period* selama 11 tahun 8,3 bulan yang masih berada di bawah batas umur ekonomis pembangkit yang ditetapkan, 15 tahun.

#### Referensi

- [1] ESDM, Rencana Umum Ketenaga Listrikan Nasional. 2025.
- [2] PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) 2021-2030," 2021.
- [3] E. Bonansyah Utoyo and Sudarti, "Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Sebagai Solusi Permasalahan Lingkungan dan Sosial di Indonesia," *Cermin: Jurnal Penelitian*, vol. 6, no. 2, Dec. 2022.
- [4] A. Oumarou Toure, F. Maiga, and I. Ouattara, "Population Growth and Solid Waste Generation in The Urban Municipality of Gao, Mali," *Global Scientific Journals*, vol. 10, no. 9, Sep. 2022, [Online]. Available: [www.globalscientificjournal.com](http://www.globalscientificjournal.com)
- [5] DLH Kuansing, "Data dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Kuantan Singingi.," 2018.
- [6] C. Zhang, T. Xu, H. Feng, and S. Chen, "Greenhouse gas emissions from landfills: A review and bibliometric analysis," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 11, no. 8, pp. 1–15, 2019, doi: 10.3390/su11082282.
- [7] H. Scharf et al., "The Impact of Management Choices on Landfill Methane Emissions," 2023.
- [8] A. S. K. V. Sudharsan Varma, "Solid Waste," in *Environmental Pollutants and Their Bioremediation Approaches*, Taylor & Francis Group, 2017, pp. 337–368. doi: 10.1201/b22171-12.
- [9] H. Syarifuddin, Y. G. Wibowo, D. Devitriano, M. Afdal, and Jalius, "Landfill Gas Prospect as a Renewable Energy Source at Talang Gulo Jambi City, Indonesia," *Ecological Engineering and Environmental Technology*, vol. 24, no. 8, pp. 309–318, 2023, doi: 10.12912/27197050/172852.
- [10] J. R. Rajagukguk, "Studi Kelayakan Desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Sebagai Sumber Energi Listrik 200 MW (Studi Kasus TPA Bantar Gebang Kabupaten Bekasi)," *Media Ilmiah Teknik Lingkungan*, vol. 5, no. 1, pp. 51–61, Feb. 2020.

- [11] S. Liling Allo and H. Widjasena, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Makbon Kota Sorong," *Jurnal Elektro Luceat*, vol. 5, no. 2, 2019.
- [12] N. Afifah Thohiroh and R. Mardiaty, "Desain Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Teknologi Pembakaran Yang Fisibel Studi Kasus TPST Bantargebang," in *Seminar Nasional Teknik Elektro 2017*, Dec. 2017, pp. 212–224.
- [13] K. B. K. Mukti, A. Natsir, and A. B. Muljono, "Kajian Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Menggunakan Software LandGEM TPA Kebon Kongok Gerung Lombok Barat," *Dielektrika*, vol. 9, no. 1, pp. 68–79, Feb. 2022, [Online]. Available: <https://dielektrika.unram.ac.id>
- [14] U.S. Environmental Protection Agency, "Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02," 2005.
- [15] C. Ramprasad, A. Anandhu, and A. Abarna, "Quantification of Methane Emissions Rate Using Landgem Model and Estimating the Hydrogen Production Potential from Municipal Solid Waste Landfill Site," *Nature Environment and Pollution Technology*, vol. 22, no. 4, pp. 1845–1856, 2023, doi: 10.46488/NEPT.2023.v22i04.012.
- [16] BPS Kuansing, "Data dari BPS Kuansing," 2022.
- [17] E. N. Agustina, "Studi Sistem Pengelolaan Sampah Kecamatan Selat Kabupaten Kapuas," 2020.
- [18] US EPA, *LFG Energy Project Development Handbook*, no. February. 2016.
- [19] E. T. G. & L. J. P. Newman D. G., *Engineering Economic Analysis*. Oxford University Press, 2009.
- [20] GE Jenbacher GmbH & Co OHG, "Technical specifications of JMS 320 GS-NL Natural gas engine module of 1.065 kWel," 2009.
- [21] V. Rajaram, *From Landfill Gas to Energy*, Technologi. USA: CRC Press, 2011.
- [22] ESDM, "Technology Data for the Indonesian Power Sector," 2024.
- [23] B. Sorensen, *Renewable Energy Conversion, Transmission, And Storage*. California: Elsevier, 2007.
- [24] U.S EPA, *Landfill Methane Outreach Program (LMOP)*, vol. 2886, no. 408. 2021.
- [25] Permen ESDM No 44 Tahun 2015, "Pembelian Tenaga Listrik Oleh Perusahaan Listrik Negara Dari Pembangkit Listrik Berbasis Sampah Kota," 2015.



Boy Ihsan lahir di kabupaten Kampar pada tahun 1994. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Riau, Indonesia pada 2017, dan gelar Magister Teknik Elektro dari Institut Teknologi Bandung, Indonesia pada 2022. Saat ini, ia bekerja di Teknik Elektro, Universitas Riau sebagai Dosen dan Peneliti. Minat penelitiannya adalah sistem tenaga listrik dan energi baru dan terbarukan.

Alamat Email: [boy.ihsan@lecturer.unri.ac.id](mailto:boy.ihsan@lecturer.unri.ac.id)



Dicky Pangindra lahir di Beringin Jaya pada tahun 1998. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Riau, Indonesia pada 2022. Saat ini, ia bekerja di PT. Tirtas Sari Surya, Sebagai Operator Listrik & Power house. Minat penelitiannya adalah sistem tenaga listrik.

Alamat Email: [dickypangindra@gmail.com](mailto:dickypangindra@gmail.com)



Iswadi Hasyim Rosma lahir di kabupaten Kampar pada tahun 1978. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Universitas Diponegoro, Indonesia pada 2002, gelar Magister Teknik Elektro dari Institut Teknologi Bandung, Indonesia pada 2007, dan gelar PhD di bidang Electrical Engineering and Electronics dari Queen's University Belfast, United Kingdom pada 2016. Sejak tahun 2003, ia bekerja di Teknik Elektro, Universitas Riau sebagai Dosen dan Peneliti. Minat penelitiannya adalah sistem tenaga listrik dan energi baru dan terbarukan.

Alamat Email: [iswadi.hr@lecturer.unri.ac.id](mailto:iswadi.hr@lecturer.unri.ac.id)