

## **Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Pada TPA Pasuruhan**

### **Technical Feasibility Analysis Of Waste-To-Energy Power Plant In Pasuruhan Landfill**

**Fahmi Miftachur Rohman<sup>1</sup>, Henry Ananta<sup>1</sup>, Eko Suprpto<sup>1</sup>, Sri Sukamta<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik,  
Universitas Negeri Semarang, Kota Semarang

[fahmiftachuro@gmail.com](mailto:fahmiftachuro@gmail.com)

#### **ABSTRAK**

**Abstrak.** Penggalan potensi EBT di berbagai daerah diperlukan agar paparan emisi GRK akibat sistem energi pembangkit listrik berbahan bakar fosil dengan tingkat polusi tinggi dapat diminimalkan. Tingginya timbunan limbah padat perkotaan TPA Pasuruhan menjadi sumber EBT yang potensial namun keberadaannya belum dimanfaatkan secara optimal. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk meninjau potensi sampah TPA Pasuruhan sebagai bahan baku pembangkitan listrik dan menilai kelayakan aspek teknis berupa peninjauan lokasi, kebutuhan lahan, dan potensi pembangkitan energi listrik. Metode penelitian yang digunakan berupa simulasi dengan *software* Aspen Hysys V11. Analisis potensi sampah TPA Pasuruhan dilakukan dengan menguji proksimat dari sampel sampah, analisis *ultimate* dan uji nilai kalor (LHV) sampah. Hasil penelitian didapatkan potensi pembangkitan listrik ke jaringan listrik sebesar 544,54 kW dari suplai sampah sebanyak 3.347,63 kg/jam dengan nilai hasil uji proksimat, *ultimate*, dan nilai kalor LHV sampah memenuhi kriteria standar dan TPA Pasuruhan layak dari aspek teknis untuk pembangunan pembangkit listrik.

**Kata kunci:** Kelayakan, Pembangkit Listrik, Energi Terbarukan, Waste to Energy (WtE)

#### **ABSTRACT**

**Abstract.** Most of the GHG emissions exposed to the atmosphere are due to energy systems by fossil fuel power plants with high pollution levels. Exploring renewable energy potential in various regions is needed to minimize GHG emissions. The amount of municipal solid waste generation in the Pasuruhan landfill is a potential source of green energy, but the utilization is not optimal. Therefore, this study aims to review the potential of Pasuruhan landfill waste as a raw material for electricity generation and assess the feasibility of technical aspects in the form of location review, land requirements, and the capacity to recover electrical energy. The research method used is a simulation with Aspen Hysys V11 software. Analysis of the waste potential by testing the proximate value, ultimate analysis, and waste heating value (LHV) test. The results showed that the potential rate of generating electricity to the power grid was 544.54 kW from a waste supply of 3347.63 kg/hour with the proximate, ultimate, and calorific value of the LHV waste fulfilling the standard criteria, and Pasuruhan landfill is feasible from a technical aspect for development power plants.

**Keywords:** Feasibility, Power Plant, Sustainable Energy, Waste to Energy (WtE)

## 1. PENDAHULUAN

Terpaparnya emisi Gas Rumah Kaca (GRK) menuju atmosfer dianggap sebagai penyebab utama terjadinya perubahan iklim. Porsi terbesar emisi GRK berasal dari sektor sistem energi sebesar 34% (20 GtCO<sub>2</sub>eq), diikuti sektor industri 24% (14 GtCO<sub>2</sub>eq), agrikultur dan kehutanan 21% (12 GtCO<sub>2</sub>eq), transportasi 14% (8,3 GtCO<sub>2</sub>eq), dan pengoperasian gedung 6% (3,3 GtCO<sub>2</sub>eq) [1]. Emisi GRK dari sistem energi didominasi oleh pembangkit listrik dengan sumber tenaga batu bara yang memiliki tingkat polusi yang tinggi [2]. Banyaknya emisi GRK yang terpapar ke atmosfer saat bahan bakar fosil dibakar menjadi dorongan untuk mengembangkan sistem energi bersih dengan bahan terbarukan [3].

Penggunaan biomassa dapat menjadi alternatif sumber energi karena ketersediaan bahan baku yang mudah, distribusi yang luas, dan termasuk salah satu bahan bakar energi yang memasok 10% dari total energi primer dunia [4]. Biomassa terbentuk dari hasil ekstrak bio-limbah yang diperoleh dari kotoran hewan, limbah hasil panen pertanian, dan limbah padat perkotaan yang memiliki kandungan selulosa [5]. Limbah padat perkotaan menjadi sumber energi terbarukan yang potensial karena dapat menghasilkan produk pembawa energi seperti biogas, syngas, gas hidrogen dan bio-oil lain [6].

Tempat Pembuangan Akhir (TPA) sampah di Pasuruhan, Mertoyudan Kabupaten Magelang memiliki timbunan limbah perkotaan yang tinggi. Menurut Data Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Kabupaten Magelang, TPA Pasuruhan menampung sebanyak 30.966 ton sampah dalam setahun pada tahun 2020 atau sekitar 90 ton sampah per hari. Saat ini, pengelolaan sampah oleh PEMDA Kabupaten Magelang masih menerapkan sistem pengelolaan penimbunan terkendali (*controlled landfill*). Sistem *controlled landfill* dinilai kurang efektif karena akan menimbulkan penumpukan sampah yang dapat memicu kebakaran, meningkatkan potensi bahaya terhadap kesehatan masyarakat dan menjadi pusat timbulnya penyakit. [7].

Mengintegrasikan teknologi *Waste to Energy* (WtE) pada sistem pengelolaan limbah dapat menjadi solusi, untuk memastikan pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan meningkatkan keanekaragaman bauran pembangkit energi [8]. Efektifitas teknologi WtE tergantung pada kandungan energi pada komposisi sampah seperti kadar air, kadar volatil, kadar abu, dan karakteristik kimiawi serta nilai kalor sampah yang menentukan besaran energi yang dapat diekstraksi [9]. Disisi lain, kajian secara teknis juga diperlukan dalam perencanaan implementasi pembangkit listrik tenaga sampah. Kajian aspek teknis berupa kajian dari dimensi *engineering* meliputi kapasitas pembangkitan listrik, kebutuhan lahan dan tinjauan rencana lokasi pembangkit [10][11][12]. Pengkajian kelayakan yang tidak sesuai acuan atas potensi sampah untuk menghasilkan energi listrik dapat mengakibatkan *over* estimasi dalam investasi baik spesifikasi peralatan dan segi biaya investasi, biaya operasional serta biaya *tipping* [13][14].

Maka perlu dilakukan analisis untuk meninjau kelayakan pembangunan pembangkit listrik berbahan bakar limbah kota dari aspek teknis berupa kajian tentang potensi karakteristik sampah yang timbul di TPA Pasuruhan sebagai sumber energi pembangkitan, kebutuhan lahan, dan kapasitas pembangkitan listrik serta peninjauan lokasi pembangunan pembangkit listrik.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini sebagai berikut: (1) observasi dan wawancara untuk memperoleh data terkait permasalahan; (2) studi literatur dengan pencarian referensi pendukung; (3) pengambilan sampel sampah sesuai dengan prosedur sampel yang akan diujikan; (4) perhitungan potensi sampah sebagai bahan bakar pembangkit listrik; (5) verifikasi hasil perhitungan dengan parameter standar bahan bakar; (6) analisis kelayakan pembangunan pembangkit listrik dari aspek teknis; (7) verifikasi hasil analisis kelayakan teknis dengan standar teknis kelayakan pembangunan pembangkit listrik.

### B. Pengujian Karakteristik Sampel Sampah

Sampel sampah yang akan diujikan merupakan sampah TPA Pasuruhan dengan persentase 50% timbunan sampah lama dan 50% timbunan sampah baru yang telah dikeringkan selama 3-5 hari. Pengujian kadar air dan kadar abu menggunakan metode thermo-gravimetri di LPPT UGM. Sedangkan, untuk pengujian kadar volatil diasumsikan sama dengan penelitian Wahyono [15] dan nilai karbon terikat didapatkan dengan perhitungan menggunakan persamaan (1) [16].

$$\%FC = 100\% - (\%MC + \%VM + \%Ash) \quad (1)$$

## Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...

Perhitungan karakteristik kimia komposisi sampah diketahui melalui analisis ultimat sampah menggunakan perhitungan (2), (3), (4) [17], dan (5) [18]. Hasil analisis ultimat akan digunakan sebagai masukan kondisi sampah pada simulasi pemulihan energi menggunakan perangkat lunak Aspen Hysys V11.

$$C = \frac{(FC_{dmmf} + 0.9 \times (VM_{dmmf} - 14)) \times (VM + FC)}{100} \quad (2)$$

$$H = \frac{\left( \left[ \frac{VM_{dmmf} \times 7.35}{VM_{dmmf} + 10} \right] - 0.013 \right) \times (VM + FC)}{100} \quad (3)$$

$$N = \frac{(2.1 - 0.012 \times VM_{dmmf}) \times (VM + FC)}{100} \quad (4)$$

$$O = 100\% - C - H - N - S - Ash \quad (5)$$

Mengacu pada [17], Kadar karbon terikat pada fase kering atau *dry mineral matter free* ( $FC_{dmmf}$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan (6) dan kadar volatil fase dmmf ( $VM_{dmmf}$ ) menggunakan persamaan (7).

$$FC_{dmmf} = \frac{FC}{(FC + VM)} \times 100 \quad (6)$$

$$VM_{dmmf} = \frac{VM}{(FC + VM)} \times 100 \quad (7)$$

Pengujian nilai kalor *High Heating Value* (HHV) sampah menggunakan alat Bomb Calorimeter IKA C2000 Basic sesuai standar ASTM E711-87. Berdasarkan standar ASTM E711-87, hasil pengukuran nilai HHV dapat digunakan untuk mengetahui nilai kalor *Low Heating Value* (LHV) sampah dengan persamaan (8), terlebih dahulu dihitung nilai total hidrogen fraksi basah ( $H_{ar}$ ) menggunakan persamaan (9) sesuai ASTM D3176-15.

$$LHV = HHV - 5,72 (H_{ar} \times 9) \quad (8)$$

$$H_{ar} = [(H_{ad} - 0,1119 \times M_{ad}) \times \left\{ \frac{(100 - M_{ar})}{(100 - M_{ad})} \right\}] + 0,1119 \times M_{ar} \quad (9)$$

### C. Desain Analisis Kelayakan Teknis Pembangunan Pembangkit Listrik

Kelayakan teknis dari proyek pembangunan pembangkit listrik dengan sistem pembakaran sampah dapat diketahui dengan parameter diantaranya persiapan bahan baku pembangkitan listrik, potensi pemanfaatan energi (potensi pembangkitan listrik), kebutuhan lahan dan mengkaji lokasi pembangunan pembangkit listrik.

Parameter persiapan bahan baku akan ditinjau mengenai kesiapan tempat untuk penampungan sampah, peralatan pengangkutan, dan peralatan pengolahan sampah agar siap digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik. Aspek teknis potensi teknologi pembakaran dan pembangkitan listrik akan disimulasikan dengan perangkat lunak Aspen Hysys dengan parameter masukan ditunjukkan pada Tabel 1. Simulasi pembangkitan listrik menggunakan siklus Rankine dengan pembakaran termal insinerasi menggunakan perhitungan otomatis Peng-Robinson [19].

## Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...

Tabel 1. Parameter Input Aspen Hysys V11 Untuk Simulasi Pembangkit Listrik TPA Pasuruhan

Parameter Komponen	Data Masukan	Sumber Acuan Data
<b>Bahan Baku Pembakaran</b>		
Sampah padat kota	- Suhu: 25°C. - Tekanan: 1 bar.	[20]
Udara pembakaran tambahan	- Suhu: 180°C. - Tekanan: 1 bar. - Massa masukan per jam menyesuaikan kondisi hingga suhu yang diinginkan.	
<b>Teknologi Pembakaran (Insinerator)</b>		
Reaksi pembakaran	- Peng-Robinson Termodinamika.	[19]
Tungku pembakaran	- Suhu operasi: 982°C. - Tipe: Parut pengaduk bolak-balik ( <i>reciprocating grate</i> ).	[21]
<b>Ketel (Boiler)</b>		
Tipe ketel	- Ketel saluran air ( <i>water tube boiler</i> ).	[22]
Kondisi air ketel	- Suhu masukan: 40°C. - Suhu keluaran: 450°C.	[19]
<b>Turbin</b>		
Tipe turbin	- Turbin uap tekanan balik.	[23]
Efisiensi turbin	- Efisiensi isentropik: 80%.	[19]
Masukan uap ( <i>Inlet steam</i> )	- Suhu masukan ( <i>inlet temperatur</i> ): 450°C - Tekanan masukan ( <i>inlet pressure</i> ): 125 bar.	
Pembuangan uap ( <i>Exhaust steam</i> )	- Tekanan pembuangan ( <i>exhaust pressure</i> ): 40 bar.	
<b>Pompa Air</b>		
Efisiensi pompa	- Efisiensi adiabatik: 80%.	[19]
Kondisi air pompa	- Suhu masukan: 40°C.	
	- Suhu keluaran: 40°C. - Tekanan keluaran: 125 bar.	

Melalui persamaan (10) [19], daya listrik bersih ( $P_{net}$ ) yang terbangkit dari simulasi pembangkitan listrik dengan siklus Rankine dapat diketahui.

$$P_{net} = P_{turbin} - P_{pump} \quad (10)$$

Sedangkan, untuk daya listrik terbangkit yang akan disalurkan pada jaringan listrik (*grid*) dapat dihitung menggunakan persamaan (11) [24].

$$P_{grid} = \frac{P_{net} \times \eta_g \times \eta_t}{1000} \quad (11)$$

Aspek teknis kelayakan terkait kebutuhan lahan dihitung mencakup untuk ruang penampungan sampah, peralatan pembakaran dan komponen pembangkit, serta penyediaan zona penyangga untuk kebutuhan lingkungan hijau. Luas lahan yang dibutuhkan untuk ruang penampungan sampah dapat dihitung dengan persamaan (12)[25], persamaan (13)[26] dan proyeksi timbunan sampah dihitung menggunakan persamaan (13)[27]. Asumsi densitas sampah baru sebesar 300 kg/m<sup>3</sup> dan densitas sampah lama 200 kg/m<sup>3</sup> dan tinggi ruang penyimpanan 3 meter [28].

$$\rho = \frac{W}{V} \quad (12)$$

$$A_b = \frac{V}{t} \quad (13)$$

$$P_n = P_o (1 + r)^n \quad (14)$$

Kelayakan lokasi pembangunan pembangkit listrik TPA Pasuruhan akan ditinjau menggunakan metode pengukuran titik rencana lokasi dengan beberapa kriteria diantaranya: (1) jarak dengan tempat pengumpulan sampah; (2) jarak dari permukaan air; (3) jarak dari transformator terdekat; (4) jarak dari jaringan listrik terdekat; (5) jarak dari pemukiman warga; (6) jarak dengan lembah dan area yang dilindungi, dan; (7) meninjau ketinggian dan kemiringan medan lokasi pembangkitan. Pengukuran dilakukan menggunakan perangkat lunak *Google Earth Pro 1.3.36.202* dengan penentuan titik koordinat lokasi

## Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...

menggunakan aplikasi android *GPS Map Camera 1.4.19* [27]. Hasil pengukuran akan dikomparasikan dengan standar kelayakan lokasi terkait jarak yang dilarang [12] dan jarak idealnya [29].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Potensi Sampah TPA Pasuruhan

Hasil uji proksimat didapat dari sampel sampah TPA Pasuruhan dengan komposisi 50% sampah baru dan 50% sampah lama yang telah mendapatkan pra-pengolahan berupa pencacahan dan pengeringan selama 4 hari. Nilai kadar volatil diasumsikan sama dengan penelitian Wahyono [15] dan perhitungan nilai karbon terikat menggunakan persamaan (1)[16]. Karakteristik sampah di TPA Pasuruhan (Tabel 2) secara kualitas telah memenuhi batasan acuan Rand dengan persentase kadar air dibawah 50%, persentase kadar bagian mudah terbakar (*combustible*) diatas 25%, dan persentase kadar abu sisa pembakaran sampah dibawah 60%.

Tabel 2. Hasil Uji Proksimat Sampah TPA Pasuruhan

Parameter	Metode	Kadar (% berat)
Kadar air	Gravimetri	41,15
Kadar abu	Gravimetri	3,44
Kadar volatil	Asumsi [15]	43,83
Karbon terikat	Perhitungan	11,58

Setelah diketahui nilai  $FC_{dmmf}$  melalui persamaan (6) dan  $Vm_{dmmf}$  melalui persamaan (7) masing-masing 20,90% dan 79,10%, maka didapatkan hasil perhitungan nilai unsur kimiawi sampah melalui analisis ultimat (persamaan (2), (3), (4), dan (5)) pada sampah TPA Pasuruhan ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil estimasi nilai unsur kimia pada sampah yang tertimbun pada TPA Pasuruhan seluruhnya berada pada nilai ambang batas *ultimate* sampah sesuai dengan penelitian Boumanchar [30]. Nilai unsur kimiawi sampah yang telah diestimasi digunakan untuk perhitungan nilai kalor dan sebagai parameter *input* simulasi pembangkit listrik dengan sistem pembakaran sampah (insinerasi) pada Aspen Hysys V11.

Tabel 3. Hasil Uji Ultimat Sampah TPA Pasuruhan

Parameter	Hasil Perhitungan (% adb)	Standar Nilai Ultimat (%)
Karbon (C)	44,05	0,72-92,00
Hidrogen (H)	3,61	0,08-14,20
Nitrogen (N)	0,64	0,00-10,00
Oksigen (O)	48,26	0,00-98,83

Melalui persamaan (8), dinyatakan nilai kalor LHV sampah TPA Pasuruhan sebesar 2447,35 kkal/kg didapat dari nilai  $H_{ar}$  sebesar 6,3535% hasil perhitungan menggunakan persamaan (9) dan nilai kalor HHV sebesar 2774,43 kkal/kg hasil pengukuran menggunakan Bomb Calorimeter IKA C2000 Basic sesuai standar ASTM E711-87. Dengan demikian, nilai kalor LHV sampah TPA Pasuruhan telah memenuhi standar minimal Bank Dunia tentang nilai kalor LHV sebagai bahan bakar pembakaran untuk pembangkitan energi listrik yaitu 2200 kkal/kg [28].

#### B. Kelayakan Persiapan Bahan Baku TPA Pasuruhan

Persiapan bahan baku di TPA Pasuruhan telah menjalankan pemilahan sampah secara otomatis menggunakan mesin gribig dengan conveyor sebagai suplai sampahnya. Mesin gribig akan memilah sampah organik dan sampah anorganik secara otomatis. Di sisi lain, TPA Pasuruhan juga telah mengadakan mesin mini *hot extruder* yang berfungsi untuk mencacah sampah berbahan plastik. Namun, hanya saja pada Gambar 1. terlihat sistem penyimpanan sampah di TPA Pasuruhan masih belum menerapkan ruang penyimpanan sampah dengan penutup atap. Hal ini akan menghambat pengeringan sampah jika curah hujan sedang tinggi. Maka direkomendasikan untuk membangun ruang penyimpanan sampah dengan penutup atap untuk pengoptimalan persiapan sampah sebagai bahan baku pembakaran.

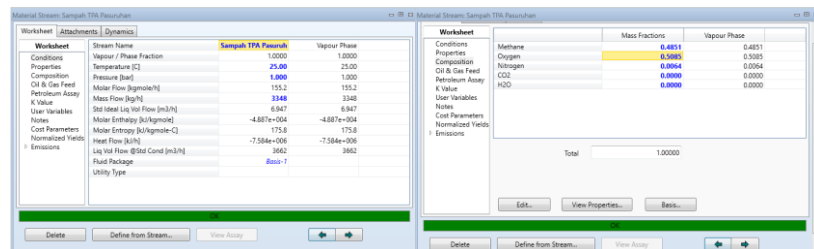
## Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...



Gambar 1. Kondisi Existing Penyimpanan TPA Pasuruhan

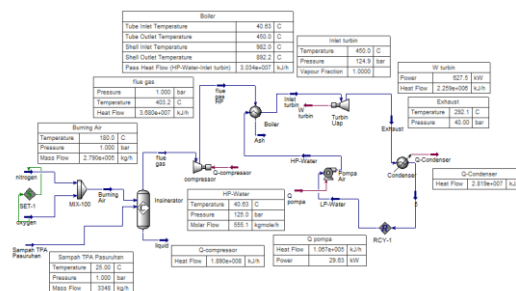
### C. Simulasi Potensi Pemulihan Energi Listrik dari Sampah TPA Pasuruhan

Rata-rata timbunan sampah TPA Pasuruhan dari tahun 2019–2020 mencapai 29.796.407 kg per tahun. Namun, hanya sebesar 89,88% dari total timbunan sampah yaitu sebesar 26.781.011 kg per tahun sampah yang dapat digunakan sebagai bahan baku pembakaran untuk proses pembangkitan listrik. Pembangkit listrik dengan sistem pembakaran sampah umumnya beroperasi selama 8000 jam per tahun [31]. Oleh karena itu, ditunjukkan pada Gambar 2. suplai sampah per jam (*mass flow*) sebesar 3.347,63 kg dimasukkan pada simulasi pembangkit listrik TPA Pasuruhan. Komposisi sampah TPA Pasuruhan memiliki persentase unsur N sebesar 0,64%, unsur C 44,05% dan H 3,61% yang apabila dikonversikan menjadi metana (CH<sub>4</sub>) menjadi 48,51% serta persentase unsur O sebesar 50,85%.



Gambar 2. Input Kondisi Sampah TPA Pasuruhan pada Aspen Hysys V11

Hasil pembakaran sampah TPA Pasuruhan menciptakan gas panas dengan aliran panas sebesar 36.800.000 kJ/jam yang tersalurkan menuju *boiler*. Gas panas yang masuk ke *boiler* dimanfaatkan untuk mendidihkan air didalam saluran *boiler* menjadi uap. Sebesar 30.340.000 kJ/jam uap bisa diproduksi oleh *boiler*, yang kemudian oleh turbin uap dipergunakan sebesar 2.259.000 kJ/jam untuk membangkitkan energi listrik sebesar 627,5 kW (Gambar 3). Proses pembentukan uap air yang terjadi di *steam drum boiler*, air masukan *boiler* dipasok oleh pompa air dengan keluaran air bertekanan 125 bar yang membutuhkan daya operasi sebesar 29,63 kW per jam atau 19.763,21 dalam sebulan. Dihitung dengan persamaan (10). didapatkan daya listrik bersih ( $W_{net}$ ) sistem pembangkitan listrik TPA Pasuruhan sebesar 597,87 kW. Oleh karena itu, melalui persamaan (11) dengan asumsi efisiensi generator ( $\eta_{generator}$ ) sebesar 99% dan efisiensi transmisi ( $\eta_{transmisi}$ ) sebesar 92% [19] diperoleh daya yang ditransmisikan ke jaringan sebesar 544,54 kW (0,54454 MW) per jam atau 12.106.94 kW per hari.



Gambar 3. Hasil Simulasi Pemulihan Energi Listrik TPA Pasuruhan.

Berdasarkan Data Informasi Pembayaran Tagihan Listrik Bulan Maret 2023 yang dikeluarkan PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) Unit Induk Distribusi Jawa Tengah dan Daerah Istimewa Yogyakarta menyatakan bahwa tagihan listrik TPA Pasuruhan (TPA DLH Kab. Magelang) sebesar Rp.11.148.917,00.- pada golongan tarif P1 dengan daya 164000 VA (164 kVA) dan TPA Wahyurejo (termasuk dalam TPA

## Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...

Pasuruhan) sebesar Rp.196.000,00.- pada golongan tarif S2 dengan daya 4400 VA. Mengacu pada data tersebut dilakukan perhitungan konsumsi listrik untuk operasional TPA Pasuruhan yang tercatat selama satu bulan hingga 3 Maret 2023 disesuaikan dengan PERMEN ESDM Nomor 28 Tahun 2016 tentang Tarif Tenaga Listrik Yang Disediakan Oleh PT Perusahaan Listrik Negara. Hasil perhitungan didapatkan total konsumsi listrik untuk operasional TPA Pasuruhan dalam sebulan sebesar 8.464,01 kW dengan rincian TPA Kab Magelang sebesar 8.246,24 kW dan TPA Wahyurejo sebesar 217,77 kW.

Tabel 4. Neraca Energi Perencanaan Pembangkit Listrik TPA Pasuruhan

Neraca Energi Listrik TPA Pasuruhan	
Total suplai energi listrik (kW)	363.208,18
Total konsumsi energi listrik (kW)	8.464,01
<b>Neraca energi listrik (kW)</b>	<b>354,744.17</b>

Ditunjukkan pada Tabel 4, potensi pembangkitan listrik TPA Pasuruhan dengan sistem pembakaran sampah dapat memulihkan energi sebesar 354,744.17 kW per bulan yang dapat memenuhi kebutuhan konsumsi listrik untuk operasional TPA Pasuruhan. Dari potensi pemulihan energi tersebut bisa dijual ke PLN untuk dijadikan tambahan suplai energi listrik ke masyarakat sekitar TPA Pasuruhan melalui saluran penyulang terdekat (SGN13 dan SGN11) yang memiliki beban puncak masing-masing 210 A (SGN13) dan 310 A (SGN11).

### D. Kelayakan Teknis Kebutuhan Lahan TPA Pasuruhan

Timbunan sampah TPA Pasuruhan tercatat memiliki tren naik beriringan dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk dari tahun ke tahun. Kabupaten Magelang memiliki rata-rata laju pertumbuhan penduduk sebesar 0,54% pada tahun 2022 [32]. Proyeksi jumlah timbunan sampah yang akan dihitung merupakan proyeksi untuk jangka 10 tahun dilakukan mulai 2024 hingga 2034. Melalui persamaan (14), didapatkan proyeksi timbunan pada tahun 2034 sebesar 88.084 kg/hari atau 88 ton/hari.

Kebutuhan lahan untuk ruang penampungan sampah dihitung menggunakan persamaan (12) dan (13). Dibutuhkan seluas 244,68 m<sup>2</sup> yang didapatkan dari volume total ruang penampung sebesar 734,03 m<sup>3</sup> (440,42 m<sup>3</sup> sampah lama dan 293,61 m<sup>3</sup> sampah baru) dengan tinggi ruang 3 meter. Proses penyimpanan sampah membutuhkan 3-5 hari agar kadar air dalam sampah menurun, maka diperlukan luas ruang penyimpanan setara dengan 3-5 hari timbunan sampah agar proses dapat berlangsung berkelanjutan. Maka luas 244,68 m<sup>2</sup> dikalikan dengan timbunan sampah selama 4 hari, didapatkan kebutuhan total lahan seluas 978,72 m<sup>2</sup> untuk ruang penyimpanan sampah.

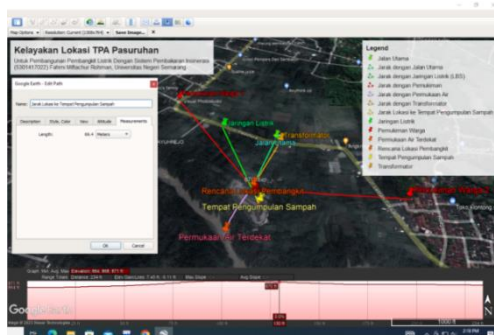
Selanjutnya, untuk peralatan pra-pengolahan sampah dibutuhkan lahan seluas 35,235 m<sup>2</sup>, dengan rincian seluas 7,2 m<sup>2</sup> untuk tiga mesin konveyor, 24 m<sup>2</sup> untuk dua mesin pemilah sampah 1,875 m<sup>2</sup> untuk satu mesin gibrig dan 2,16 m<sup>2</sup> untuk mesin *mini hot extruder*. Sedangkan untuk tungku pembakaran insinerasi, komponen peralatan pembangkit listrik dan kantor operasional diasumsikan butuh lahan seluas 0,8 ha (8000 m<sup>2</sup>) [33]. Dengan demikian, lahan yang dibutuhkan pembangunan pembangkit listrik seluas 9.013,96 m<sup>2</sup>. TPA sampah yang akan dibangun sebagai pembangkit listrik dianjurkan untuk menyediakan zona penyangga seluas 25% dari total luas TPA [26], pada perencanaan ini dibutuhkan lahan untuk zona penyangga seluas 2,253.49 m<sup>2</sup>. Oleh karena itu, kebutuhan lahan keseluruhan untuk pembangunan pembangkit listrik TPA Pasuruhan yaitu seluas 11.267,45 m<sup>2</sup> atau 1,13 ha.

TPA Pasuruhan memiliki lahan total seluas 4,89 ha dengan luas lahan terpakai seluas 1,5 ha dan luas lahan yang belum digunakan seluas 3,39 ha. Dilihat dari hasil perhitungan kebutuhan luas lahan untuk pembangunan pembangkit listrik dengan sistem pembakaran sampah yaitu 1,13 ha, luas lahan TPA Pasuruhan belum terpakai (3,39 ha) memenuhi kriteria kelayakan teknis kebutuhan lahan untuk pembangunan pembangkit listrik dengan sistem pembakaran sampah.

### E. Kelayakan Lokasi TPA Pasuruhan

Koordinat *latitude* dan *longitude* dari aplikasi android *GPS Map Camera 1.4.19* dimasukkan ke perangkat lunak *Google Earth Pro 1.3.36.202* sehingga memunculkan titik-titik koordinat kriteria yang akan diukur. Terlihat pada Gambar 4, didapatkan hasil pengukuran salah satu kriteria kelayakan lokasi yaitu jarak antara rencana lokasi pembangkit listrik dengan tempat pengumpulan sampah TPA Pasuruhan sejauh 69.4 meter dan berada pada rata-rata ketinggian 864 kaki atau 263 meter dari permukaan laut.

## Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...



Gambar 4. Pengukuran Jarak Rencana Lokasi Pembangkit dengan Tempat Pengumpulan Sampah.  
(Sumber: Google Earth Pro 1.3.36.202, 2023)

Hasil pengukuran seluruh kriteria kelayakan lokasi pembangkit listrik yang dirangkum pada Tabel 5, dibandingkan dengan parameter acuan jarak yang dilarang [12] dan parameter acuan jarak ideal [29].

Tabel 5. Perbandingan Hasil Ukur Lokasi TPA Pasuruhan Dengan Parameter Standar.

Kriteria	Hasil Pengukuran	Parameter area yang dilarang	Parameter jarak ideal	Sumber Data
Jarak dari tempat pengumpulan sampah	69,4 meter	> 25000 meter	0-10000 meter	Pengukuran
Jarak dari area yang dilindungi	Tidak ada	< 1000 meter	-	[32]
Jarak dari lembah	Tidak ada lembah	< 500 meter	-	[32]
Jarak dari permukaan air	178 meter	< 1000 meter	-	Pengukuran
Jarak dari transformator	229 meter	-	10-1000 meter	Pengukuran
Jarak dari jaringan listrik	310 meter	< 200 meter	100-1000 meter	Pengukuran
Jarak dari jalan utama	237 meter	-	30-1000 meter	Pengukuran
Jarak dari pemukiman warga	504 meter	<500 meter	-	Pengukuran
Ketinggian ( <i>elevation</i> )	263 meter	> 360 meter	0-300 meter	Pengukuran
Kemiringan medan ( <i>slope</i> )	0-15°	>45°	0-15°	[32]

Lokasi TPA Pasuruhan Kabupaten Magelang berada pada titik yang ideal jika diterapkan untuk lokasi pembangunan pembangkit listrik dengan teknologi insinerasi sampah karena berada pada jarak 69,4 meter dari tempat pengumpulan sampah dan berjarak 237 meter dari jalan utama dengan ketinggian lokasi 263 meter dengan kemiringan medan maksimal 15 derajat menjadikan transportasi pemasokan bahan baku dan material pembangunan pembangkit listrik dapat diakses dengan mudah, selain itu karena jarak dengan pengumpulan sampah yang dekat dengan lokasi pembangkit listrik menjadi keuntungan untuk meminimalisir biaya transportasi dan mengurangi polusi pengangkutan sampah. Selain itu, lokasi TPA Pasuruhan juga dekat dengan transformator distribusi PLN yang hanya sejauh 229 meter. Di lain sisi apabila akan disambungkan dengan jaringan listrik PLN (*on grid system*), lokasi TPA Pasuruhan hanya berjarak 310 meter dengan saluran penyulang SGN13 dan SGN11 yang terhubung melalui LBS M3-146-61-52 yang memiliki kapasitas 480 A dengan beban puncak masing-masing 210 A (SGN13) dan 310 A (SGN11).

Berdasarkan data BPS Kabupaten Magelang Tahun 2023 [32], rencana lokasi pembangkit listrik TPA Pasuruhan berada jauh dari area yang dilindungi seperti hutan lindung, suaka margasatwa dan daerah rawan bencana. Oleh karena itu lokasi TPA Pasuruhan secara ekonomi, keberadaan sumber bahan baku, dan topografi telah memenuhi segala parameter. Hanya saja sebagai catatan perlu dilakukan pengelolaan serius terkait gas buang dan limbah sisa pembangkitan listrik untuk mengantisipasi pencemaran terhadap sumber air karena hanya berjarak 178 meter dari rencana lokasi pembangkit listrik.

## 4. SIMPULAN

Timbunan sampah sebanyak 81,63 ton masuk ke TPA Pasuruhan setiap harinya, 89,88% sampah merupakan sampah *combustible* yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik dengan persentase kadar air 41,15% (dibawah 50%) dan kadar abu 3,44% (dibawah 60%) serta terkandung nilai



## ***Analisis Kelayakan Teknis Pembangkit ...***

kalor LHV mencapai 2447,35 kkal/kg pada sampah TPA Pasuruhan yang telah melebihi acuan minimal nilai kalor LHV sampah (2200 kkal/kg). Pemanfaatan timbunan sampah di TPA Pasuruhan dengan kapasitas suplai 3.347,63 kg per jam berpotensi menghasilkan daya listrik yang disalurkan ke jaringan listrik (*grid*) sebesar 544,54 kW dengan sistem pembakaran insinerasi. Berdasarkan analisis kelayakan teknis meliputi persiapan bahan baku, pemanfaatan energi (potensi pembangkitan listrik), dan kebutuhan lahan serta kajian lokasi, TPA Pasuruhan layak untuk pembangunan pembangkit listrik dengan sistem pembakaran insinerasi sampah.

### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] W. F. Lamb *et al.*, “A review of trends and drivers of greenhouse gas emissions by sector from 1990 to 2018,” *Environmental Research Letters*, vol. 16, no. 7. 2021, doi: 10.1088/1748-9326/abee4e.
- [2] M. Jakob, C. Flachsland, J. Christoph Steckel, and J. Urpelainen, “Actors, objectives, context: A framework of the political economy of energy and climate policy applied to India, Indonesia, and Vietnam,” *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 70, 2020, doi: 10.1016/j.erss.2020.101775.
- [3] D. Cerinski *et al.*, “Modelling the biomass updraft gasification process using the combination of a pyrolysis kinetic model and a thermodynamic equilibrium model,” *Energy Reports*, vol. 7, 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.05.079.
- [4] S. Farzad, M. A. Mandegari, and J. F. Görgens, “A critical review on biomass gasification, co-gasification, and their environmental assessments,” *Biofuel Research Journal*, vol. 3, no. 4. 2016, doi: 10.18331/BRJ2016.3.4.3.
- [5] S. K. Sansaniwal, K. Pal, M. A. Rosen, and S. K. Tyagi, “Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.038.
- [6] S. Evangelisti, R. Clift, C. Tagliaferri, and P. Lettieri, “A life cycle assessment of distributed energy production from organic waste: Two case studies in Europe,” *Waste Manag.*, vol. 64, 2017, doi: 10.1016/j.wasman.2017.03.028.
- [7] A. Sharma, A. K. Gupta, and R. Ganguly, “Impact of open dumping of municipal solid waste on soil properties in mountainous region,” *J. Rock Mech. Geotech. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 725–739, 2018, doi: 10.1016/j.jrmge.2017.12.009.
- [8] M. A. Alao, O. M. Popoola, and T. R. Ayodele, “Waste-to-energy nexus: An overview of technologies and implementation for sustainable development,” *Clean. Energy Syst.*, p. 100034, 2022.
- [9] J. Marshall, D. Hoornweg, W. B. Eremed, and G. Piamonti, “World Energy Resources Waste to Energy,” *World Energy Counc*, pp. 5–60, 2016.
- [10] S. Afrane, J. D. Ampah, C. Jin, H. Liu, and E. M. Aboagye, “Techno-economic feasibility of waste-to-energy technologies for investment in Ghana: A multicriteria assessment based on fuzzy TOPSIS approach,” *J. Clean. Prod.*, vol. 318, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128515.
- [11] A. P. Nuryadi, T. B. Pratomo, and A. A. Raksodewanto, “Analysis of the feasibility of small-biomass power generation from the palm oil mill-study case: Palm oil mill in Riau-Indonesia,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 336, no. 1, doi: 10.1088/1755-1315/336/1/012018.
- [12] M. F. M. Abushammala, W. A. Qazi, S. Frrag, M. Y. D. Alazaiza, and M. K. Younes, “Site selection of municipal solid waste incineration plant using GIS and multicriteria decision analysis,” *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 72, no. 9, pp. 1027–1039, 2022.
- [13] M. M. Azis, J. Kristanto, and C. W. Purnomo, “A techno-economic evaluation of municipal solid waste (Msw) conversion to energy in indonesia,” *Sustain.*, vol. 13, no. 13, 2021, doi: 10.3390/su13137232.
- [14] S. N. Qodriyatun, “Pembangkit Listrik Tenaga Sampah: Antara Permasalahan Lingkungan dan Percepatan Pembangunan Energi Terbarukan,” *Aspir. J. Masal. Sos.*, vol. 12, no. 1, pp. 63–84, 2021, doi: 10.46807/aspirasi.v12i1.2093.
- [15] S. Wahyono, F. L. Sahwan, and F. Suryanto, “Characterization of municipal solid waste for waste to energy feedstock in Jakarta,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022, vol. 1034, no. 1, doi: 10.1088/1755-1315/1034/1/012034.
- [16] I. A. Zakarya, N. S. A. Fazhil, T. N. T. Izhar, S. K. Zaaba, and M. N. F. Jamaluddin, “Municipal

- solid waste characterization and quantification as a measure towards effective solid waste management in UniMAP,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 616, no. 1, doi: 10.1088/1755-1315/616/1/012047.
- [17] R. Strydom, “Enhanced waste tyre pyrolysis for the production of hydrocarbons and petrochemicals.” Cape Peninsula University of Technology, 2017.
- [18] D. A. da Silva, E. Eloy, B. O. Caron, and P. F. Trugilho, “Elemental Chemical Composition of Forest Biomass at Different Ages for Energy Purposes,” *Floresta e Ambient.*, vol. 26, no. 4, 2019, doi: 10.1590/2179-8087.020116.
- [19] J. Amulen, H. Kasedde, J. Serugunda, and J. D. Lwanyaga, “The potential of energy recovery from municipal solid waste in Kampala City, Uganda by incineration,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 14, 2022, doi: 10.1016/j.ecmx.2022.100204.
- [20] S. Kerdsuwan and K. Laohalidanond, “Simulation of Green and Clean Electrical Power Generation of a 500 Ton per Day Waste Incineration Plant with High Moisture Content and Low Heating Value,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 799–800, 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.799-800.1244.
- [21] R. J. Giraud, P. H. Taylor, and C. pao Huang, “Combustion operating conditions for municipal Waste-to-Energy facilities in the U.S.,” *Waste Manag.*, vol. 132, 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.07.015.
- [22] S. Sanaye and A. Ghaffari, “Modeling, multi-objective optimization and comparison of fire and water tube heat recovery steam generators for gas engine cogeneration plants,” *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 144, no. 5, 2021, doi: 10.1007/s10973-020-10522-3.
- [23] J. Lee, K. M. Kim, S. Im, S. H. Shin, W. S. Chang, and M. S. Oh, “A study on the variation of the performance and the cost of power generation in a combined heat and power plant with the change of the user facility’s return temperature,” *J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 34, no. 2, 2020, doi: 10.1007/s12206-020-0140-5.
- [24] R. A. Ibikunle, I. F. Titiladunayo, B. O. Akinnuli, S. O. Dahunsi, and T. M. A. Olayanju, “Estimation of power generation from municipal solid wastes: A case Study of Ilorin metropolis, Nigeria,” *Energy Reports*, vol. 5, 2019, doi: 10.1016/j.egy.2019.01.005.
- [25] W. Lu, L. Yuan, and F. Xue, “Investigating the bulk density of construction waste: A big data-driven approach,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 169, 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105480.
- [26] D. W. Manurung and E. B. Santoso, “Penentuan Lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah yang Ramah Lingkungan di Kabupaten Bekasi,” *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, 2020, doi: 10.12962/j23373539.v8i2.48801.
- [27] R. Y. Lesmana, “Estimasi Laju Timbulan Sampah dan Kebutuhan Landfill Periode 2018-2027 (Studi Kasus Kec. Mentawa Baru Ketapang, Kab. Kotawaringin Timur, Kalimantan Tengah),” *Media Ilm. Tek. Lingkung.*, vol. 2, no. 2, 2017, doi: 10.33084/mitl.v2i2.124.
- [28] E. Damanhuri and T. Padmi, *Pengelolaan Sampah Terpadu*, Pertama. Bandung: Penerbit ITB, 2016.
- [29] S. Yalcinkaya and O. S. Kirtiloglu, “Application of a geographic information system-based fuzzy analytic hierarchy process model to locate potential municipal solid waste incineration plant sites: A case study of Izmir Metropolitan Municipality,” *Waste Manag. Res.*, vol. 39, no. 1, 2021, doi: 10.1177/0734242X20939636.
- [30] I. Boumanchar *et al.*, “Municipal solid waste higher heating value prediction from ultimate analysis using multiple regression and genetic programming techniques,” *Waste Manag. Res.*, vol. 37, no. 6, 2019, doi: 10.1177/0734242X18816797.
- [31] N. Dadario, L. R. A. Gabriel Filho, C. P. Cremasco, F. A. dos Santos, M. C. Rizk, and M. Mollo Neto, “Waste-to-Energy Recovery from Municipal Solid Waste: Global Scenario and Prospects of Mass Burning Technology in Brazil,” *Sustain.*, vol. 15, no. 6, pp. 1–20, 2023, doi: 10.3390/su15065397.
- [32] BPS Kabupaten Magelang, *Kabupaten Magelang Dalam Angka Magelang Regency in Figures 2023*. Kabupaten Magelang: BPS Kabupaten Magelang, 2023.
- [33] E. K. Paleologos, P. Caratelli, and M. El Amrousi, “Waste-to-energy: An opportunity for a new industrial typology in Abu Dhabi,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 55. 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.07.098.