

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v8i1.1384>

# Analisis Potensi Sampah di Tempat Pemrosesan Akhir Toisapu Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di Kota Ambon

Heni Mutmainnah<sup>1\*</sup>, Fajar Akbar Pandiangan<sup>2</sup>, Akbar Khasemi Hamzah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Tarbiyah dan Ilmu Keguruan, Institut Agama Islam Negeri Ambon, Jl. Dr. Tarmizi Taher, Sirimau Ambon, 97128

<sup>2</sup>Program Studi Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Institut Teknologi PLN, Jl. Lebak Bulus Tengah No.5 Cilandak Jakarta Selatan, 12430

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: [henimutmainnah90@gmail.com](mailto:henimutmainnah90@gmail.com)

**Abstract** - Municipal solid waste is a kind of the biomass, renewable energy resources that are always produced and accumulated by the population. Selected municipal solid waste can be converted to electricity by thermal means (incineration). In Ambon City, municipal solid waste has not managed optimally resulting in the waste to pile up in TPA Toisapu and keep increasing daily. In 2020 TPA Toisapu receive 1.958,60 tons of waste and not yet managed properly. This study is aimed to analyze potential power capacity of waste power plant and electrical energy generated from municipal solid waste in TPA Toisapu in Ambon City, and feasibility of incinerator waste power plant from economic aspect. This study use qualitative-descriptive method. The calculation shows that the potential power than can be generated from processing 129,545 kg/hour of organic waste is 1.119,8960 Watt or 1,120 kW and electrical energy than can be generated annually is 9811,2 kWh. From economic aspect, NPV =Rp. 5.736.488.980, PP -10.35, BCR -0.56 dan IRR < 0. The overall calculation shows that development of waste power plant is not feasible. The accumulated municipal solid waste in TPA Toisapu is not potential to be used as waste power plant fuel.

**Abstrak** - Sampah merupakan salah satu biomassa yang merupakan sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yang dapat dimanfaatkan secara terus menerus karena ketersediaanya yang tidak pernah habis. Sampah dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui metode thermal. Di Kota Ambon, sampah belum dikelola secara optimal sehingga hanya menumpuk di TPA Toisapu, sementara itu angka timbunan sampah tiap harinya terus meningkat. Pada tahun 2020 sampah yang masuk di TPA Toisapu sebanyak 1.958,60 ton dan belum dikelola secara optimal. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis potensi daya dan energi listrik yang dapat dibangkitkan berdasarkan volume timbunan sampah di TPA Toisapu kota Ambon sebagai bahan baku PLTSA serta kelayakan pembangunan PLTSA berteknologi incinerator dari aspek ekonomi. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif. Hasil analisis potensi daya dan energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan kapasitas sampah organik yang tersedia di TPA Toisapu yaitu 129,545 kg/jam adalah 1.119,8960 Watt atau 1,120 kW dan Energi listrik yang dihasilkan selama 1 tahun kalender adalah 9.811,2 kWh. Perhitungan memberikan nilai NPV sebesar -Rp.5.736.488.980, PP -10.35 Tahun, BCR -0.56 dan IRR < 0 %. Ini berarti bahwa perhitungan keseluruhannya tidak memenuhi kriteria kelayakan untuk pembangunan PLTSA atau dapat dikatakan timbunan sampah di TPA Toisapu tidak berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar dalam teknologi PLTSA.

**Keywords** - Renewable Energy, Municipal Solid Waste, Incineration, Power Plants

## PENDAHULUAN

Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Toisapu merupakan tempat pembuangan sampah akhir yang menampung seluruh sampah di Kota Ambon yang berasal dari lima kecamatan yaitu Kecamatan Sirimau, Teluk Ambon Baguala, Teluk Ambon, Nusaniwe, dan Leitimur Selatan [1], permasalahan sampah di kota Ambon semakin sulit ditanggulangi dikarenakan masyarakat masih menganggap sampah sebagai material yang tidak memiliki nilai ekonomis. Selain itu masyarakat belum tertib dalam memilah sampah sehingga sampah yang diangkut ke TPA Toisapu masih berupa sampah campuran antara sampah organik maupun anorganik serta berbagai jenis sampah lainnya. Sejak dioperasikan pada tahun 2003 hingga saat ini, sistem pengelolaan sampah di TPA Toisapu menggunakan sistem *open dumping* (pembuangan terbuka) yang mengakibatkan volume sampah di TPA terus meningkat dan menggunung hingga mencapai 15-27 m<sup>3</sup> [2], sistem pengelolaan *open dumping* ini dianggap tidak ramah lingkungan karena dapat menimbulkan pencemaran udara, air maupun tanah, selain itu sistem *open dumping* menyebabkan timbunan sampah terus meningkat setiap waktu yang berdampak pada meningkatnya kebutuhan lahan baru [3].

Luas areal lahan TPA Toisapu saat ini adalah 6 hektar, namun Pemerintah Kota (Pemkot) Ambon berencana memperluas areal TPA seluas 10 hektar di lokasi yang sama pada tahun 2020. Hal ini disebabkan timbunan sampah semakin menggunung dan volume sampah yang masuk ke TPA semakin bertambah. Namun rencana penambahan areal lahan menimbulkan konflik dengan masyarakat yang berdomisili di sekitar TPA [4]. Selain itu, masyarakat disekitar area TPA banyak yang menderita penyakit kulit disebabkan mereka masih menggunakan air sungai untuk keperluan rumah tangga [2], air sungai di areal TPA dimungkinkan telah tercemar oleh lindi yang dihasilkan dari tumpukan sampah sehingga tidak layak digunakan untuk aktivitas rumah tangga. Kebutuhan lahan dan pencemaran yang ditimbulkan dari keberadaan TPA menyebabkan konflik dengan masyarakat terus terjadi sehingga diperlukan satu upaya pengelolaan sampah perkotaan secara efektif dan efisien. Salah satunya dengan memanfaatkan sampah tersebut sebagai sumber energi terbarukan.

Energi terbarukan dapat digunakan terus-menerus dan ketersediaannya tidak terbatas. Selain itu, EBT

dapat digunakan secara langsung dan bebas karena merupakan sumber energi alam. Salah satu energi terbarukan yang ketersediaannya tidak pernah habis adalah sampah yang dapat dikonversi menjadi energi listrik [5], sampah yang menumpuk di TPA merupakan sumber biomassa yang berpotensi menghasilkan energi listrik melalui Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) [6].

Studi potensi limbah kota sebagai PLTSA dengan metode insinerasi pernah dilakukan oleh Faruq pada tahun 2016 di kota Singkawang terdapat data berupa daya listrik yang dihasilkan generator dari bahan baku sampah TPA, namun hasil penelitian tersebut tidak didukung dengan analisis kelayakan pembangunan PLTSA secara ekonomi yang meliputi modal dan operasional PLTSA [5][6][3][7], potensi PLTSA di kota Sorong dengan teknologi fermentasi metana pada TPA dengan metode *sanitary landfill* dan diperoleh jumlah daya listrik yang dihasilkan [8], namun metode PLTSA *Landfill Gas* (LFG) membutuhkan pengontrolan dan pengelolaan yang sangat baik karena digunakan secara terus menerus, dan dapat menyebabkan terjadinya kabut gas beracun, sumbangsih terhadap pemanasan global, dan ledakan gas [9]. Pada penelitian [9], di Banda Aceh berhasil memproyeksikan kelayakan pembangunan PLTSA pada TPA dengan mengevaluasi dari faktor ekonomi dengan metode *least cost*. Hasil penelitian ini dapat memenuhi kriteria sehingga dapat disimpulkan kelayakan PLTSA untuk didirikan [10][11]. pada penelitian ini juga dilakukan evaluasi secara ekonomi sehingga dapat diketahui kelayakan pembangunan PLTSA pada TPA Toisapu di Kota Ambon.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu deskriptif kuantitatif melalui studi kepustakaan untuk menghitung potensi daya dan energi listrik yang dihasilkan dari PLTSA berteknologi *incenerator* yang selanjutnya dilakukan tinjauan kelayakan berdasarkan analisis ekonomi dengan metode *least cost*.

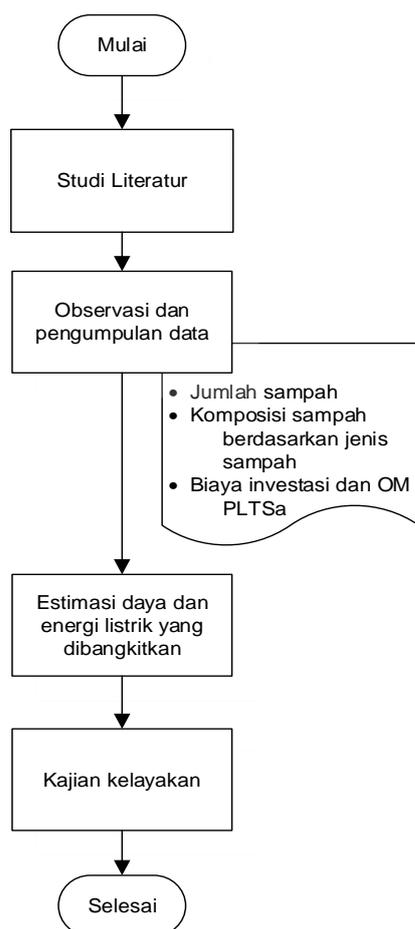
Berdasarkan uraian di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah berapa daya dan energi listrik yang dihasilkan PLTSA dan bagaimana tinjauan kelayakan berdasarkan analisis ekonominya. Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis potensi daya dan energi listrik yang dapat dibangkitkan berdasarkan volume timbunan sampah di TPA Toisapu kota Ambon sebagai bahan baku PLTSA serta kelayakan

pembangunan PLTSa berteknologi *incenerator* dari aspek ekonomi.

## METODE

### Desain, tempat dan waktu

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian deskriptif kuantitatif yaitu penelitian yang menggambarkan atau mendeskriptifkan tentang suatu keadaan secara objektif yang menggunakan angka, mulai dari pengumpulan data, penafsiran terhadap data tersebut serta penampilan dan hasilnya. *Flowchart* metodologi penelitian ini digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. *Flowchart* Metodologi Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur atau studi kepustakaan untuk memperoleh informasi tentang penelitian-penelitian sejenis atau yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya dilakukan observasi dan pengumpulan data langsung di lapangan berupa pengambilan data pengukuran berat sampah dan wawancara terhadap penanggung jawab TPA Toisapu Kota Ambon

untuk memperoleh data primer dan data sekunder. Selain jumlah dan komposisi sampah berdasarkan jenis sampah yang masuk ke TPA dijadikan data primer yang di peroleh pada bagian penimbangan di jembatan timbang sebelum sampah dibuang ke area penimbunan, total investasi untuk membangun sebuah PLTSa serta biaya pengeluaran yang terdiri dari biaya pemeliharaan dan operasional. Sementara itu, data sekunder yang dimaksud berupa informasi terkait kondisi wilayah TPA, kependudukan, sistem pengelolaan sampah, dan data-data terkait kebijakan daerah diperoleh dari dinas terkait dan studi literatur. Lokasi Penelitian berpusat di TPA Toisapu, karena seluruh sampah di Kota Ambon yang terdiri dari 5 kecamatan di angkut ke TPA Toisapu. Selanjutnya data dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif. Setelah memperoleh data maka dibuat perhitungan untuk mengestimasi daya dan energi listrik yang dibangkitkan mulai dari menghitung panas pembakaran diruang bakar, menghitung laju panas yang keluar dari *incinerator*, menghitung laju masa uap, menghitung kerja turbin uap, dan menghitung daya yang dihasilkan generator.

Selanjutnya, setelah diketahui energi listrik yang dihasilkan selama 1 tahun kalender dan biaya total investasi untuk membangun sebuah PLTSa beserta biaya pemeliharaan dan operasionalnya, maka dibuat kajian kelayakan menggunakan metode *least cost* dengan menghitung *Net Present Value (NPV)*, *Internal Rate of Return (IRR)*, *Benefit Cost Ratio (BCR)* dan *Payback Period (PP)*. Lokasi penelitian berada di TPA Toisapu berada di Dusun Ama Ory, Desa Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan Kota Ambon, Penelitian ini dilakukan pada tahun 2020.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### TPA Toisapu

TPA Toisapu berada di Dusun Ama Ory, Desa Hutumuri, Kecamatan Leitimur Selatan Kota Ambon. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kota Ambon (2017), diketahui bahwa Jumlah penduduk di desa Hutumuri sebanyak 5.175 jiwa yang terdiri dari jumlah perempuan 2.562 jiwa dan laki-laki 2.613 jiwa. TPA Toisapu saat ini menempati lahan seluas 6 hektar. TPA ini menampung sampah dari lima kecamatan di kota Ambon yakni kecamatan Sirimau, Teluk Ambon Baguala, Teluk Ambon, Nusaniwe dan Leitimur Selatan yang terdiri dari 50 desa/kelurahan [12], TPA Toisapu merupakan satu-satunya TPA yang aktif beroperasi di kota Ambon, namun TPA ini

masih menggunakan sistem *open dumping* yaitu meletakkan timbunan sampah langsung di atas permukaan tanah. Hal ini menyebabkan lepasnya lindi ke areal sekitar timbunan sampah, bahkan lindi yang dihasilkan dari timbunan sampah akan meresap ke dalam air tanah dan mencemari sumber air masyarakat sekitar. Masyarakat disekitar area TPA banyak yang menderita penyakit kulit disebabkan mereka masih menggunakan air sungai untuk keperluan rumah tangga. Air sungai ini dimungkinkan telah tercemar oleh lindi yang berasal dari timbunan sampah di TPA Toisapu. Sebagaimana diketahui TPA Toisapu terletak di Dusun Ama Ory yang memiliki kondisi geografis berupa pegunungan atau dataran tinggi. Sehingga lindi yang dihasilkan oleh timbunan sampah dapat mengalir ke sumber-sumber air dengan mudah.

TPA Toisapu belum menerapkan sistem pilah sampah sehingga sampah yang masuk ke areal penimbunan merupakan sampah campuran. Proses pemilahan sampah dilakukan secara manual oleh pemulung yang beraktivitas di areal TPA. Pemulung yang beraktivitas di TPA Toisapu berjumlah 236 yang terdiri dari 13 KK (Kepala Keluarga), dengan perincian laki-laki sebanyak 113 orang dan perempuan 123 orang. Para pemulung di TPA Toisapu membentuk kelompok-kelompok dan melakukan pemilahan sampah secara manual pada areal penimbunan sampah yang selanjutnya sampah yang telah di sortir di jual kepenadah atau pengepul sampah yang akan datang ke TPA. Sampah yang disortir oleh pemulung umumnya berupa sampah botol plastik dan sisa-sisa makanan [13].



Gambar 2. (a) jembatan timbang; (b) timbunan sampah TPA Toisapu

### Potensi Sampah di TPA Toisapu

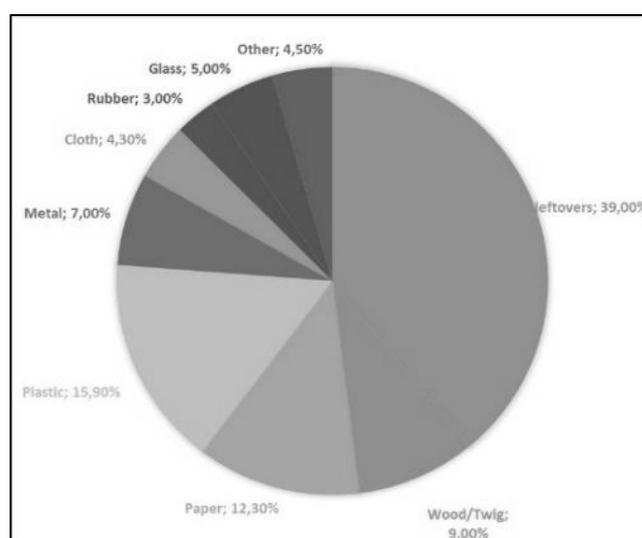
TPA Toisapu Kota Ambon memiliki timbunan sampah yang homogen yakni tercampur merata antara sampah organik maupun anorganik. Timbunan sampah pada TPA berasal dari 163 Tempat Pembuangan Sementara (TPS) yang tersebar di 5 kecamatan di kota Ambon yaitu kecamatan Sirimau, Teluk Ambon, Teluk Ambon Baguala, Nusaniwe dan Leitimur Selatan yang

terdiri dari 50 desa/kelurahan. Data jumlah sampah per bulan dan per hari yang diangkut ke TPA Toisapu tahun 2020 dapat dilihat pada tabel 1 dan komposisi sampah ditampilkan pada gambar 3.

Tabel 1. Rata-rata Jumlah Sampah yang Masuk di TPA Toisapu Tahun 2020

Bulan	Jumlah sampah/hari(ton)	Jumlah sampah/bulan(ton)
Januari	5,22	161,8
Februari	6,03	174,8
Maret	5,51	170,7
April	4,97	149
Mei	5,55	172,2
Juni	5,23	156,8
Juli	5,11	158,5
Agustus	4,84	149,9
September	5,31	159,4
Oktober	5,16	154,7
November	5,38	161,5
Desember	6,11	189,3

Berdasarkan tabel 1 diketahui bahwa jumlah timbunan sampah pada tahun 2020 di TPA Toisapu sebanyak 1.958,60 ton atau sama dengan 1.958.600 kg dan rata-rata jumlah perharinya 5,7 ton atau sebanyak 5.709,03 kg. Sementara itu menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional tahun 2021 diketahui bahwa komposisi sampah di Kota Ambon tahun 2020 berdasarkan karakteristik jenis sampahnya didominasi oleh sampah organik dibandingkan dengan sampah jenis lainnya [14], seperti yang terlihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah di Kota Ambon Provinsi Maluku Tahun 2020

Berdasarkan gambar 3 diketahui bahwa sampah organik merupakan jenis sampah yang mendominasi di TPA Toisapu. Sampah organik ini

memiliki persentase 48% atau 940,13 ton yang terdiri dari sampah sisa makanan dan ranting kayu, disusul jenis plastik 15,9%, sampah kertas/karton 12,3%, logam 7%, kain 4,3%, karet/kulit 3%, kaca 5% dan lain-lain 4,5%. Data komposisi sampah organik ini akan digunakan untuk menghitung nilai kalor yang dihasilkan pada ruang bakar. Kadar air dan hidrogen yang terdapat dalam timbunan sampah sangat mempengaruhi nilai kalor sampah perkotaan. Oleh karena itu data nilai kalor menjadi hal yang penting untuk memutuskan dalam memilih teknologi yang akan diaplikasikan dalam pengolahan sampah (*waste to energi*).

### Perhitungan dan Analisis Potensi Energi Listrik yang dihasilkan

Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan dari timbunan sampah di TPA Toisapu dihitung berdasarkan jumlah massa sampah organik per harinya, kemudian dilanjutkan dengan menghitung panas pembakaran sampah berdasarkan total nilai kalor sampah organik. Menurut Fernando (2007) sampah organik memiliki nilai kalor 674,570 Kkal/Kg. Setelah menghitung panas pembakaran yang dihasilkan pada *incinerator* kemudian dilanjutkan dengan menghitung laju panas yang dihasilkan untuk menguapkan air pada *boiler*. Hasil perhitungan laju panas dari *incinerator* digunakan untuk menghitung laju aliran massa uap yang keluar dari *boiler* dan menghitung kinerja turbin uap yang digunakan. Hasil akhir diperoleh berupa daya yang dapat dibangkitkan oleh generator.

Teknologi insenerasi lebih dipilih karena merupakan teknologi yang telah banyak digunakan untuk kegiatan *Waste to Energi* (WtE) di dunia. Selain itu teknologi ini dianggap lebih ramah lingkungan, ekonomis, dan cocok untuk jenis sampah di Indonesia yang didominasi sampah organik [15].

### Perhitungan Panas Pembakaran di Ruang Bakar

Diketahui rata-rata jumlah timbunan sampah perharinya di TPA Toisapu tahun 2020 sebanyak 5.709,03 kg dengan sampah organik yang terdiri dari sisa makanan dan kayu/ranting 57,94 % sehingga massa sampah organik per harinya sejumlah 3.109,076 kg. Total nilai kalor sampah organik 674,570 Kkal/Kg sehingga untuk mengetahui panas di ruang pembakaran digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_f = M \text{ sampah} \times CV \text{ sampah} \quad (1)$$

Dengan:

$$Q_f = \text{Panas Pembakaran } incinerator \text{ (KJ/jam)}$$

$$M \text{ sampah} = \text{Massa sampah (Kg/jam)}$$

$$CV \text{ sampah} = \text{Nilai kalor sampah (KJ/kg)}$$

Diketahui:

$$M \text{ sampah} = 3.109,076 \text{ kg/hari}$$

$$= 129,545 \text{ kg/jam}$$

$$CV \text{ sampah} = 674,570 \text{ kkal/kg}$$

$$= 161,114 \text{ KJ/kg}$$

Sehingga:

$$Q_f = 20.871,527 \text{ KJ/kg}$$

### Perhitungan Laju Panas yang dihasilkan Incinerator

Hasil perhitungan panas pembakaran pada *incinerator* yaitu 20.871,527 KJ/kg digunakan untuk menghitung laju panas yang keluar dari *incinerator* dengan menggunakan nilai efisiensi ketel sebesar 80%. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh nilai laju panas dari *incinerator* adalah sebagai berikut:

$$Q = n \times Q \quad (2)$$

Dengan:

$$n = \text{Efisiensi ketel (\%)}$$

$$Q = \text{Laju panas yang keluar dari } incinerator \text{ (KJ/jam)}$$

$$Q_f = \text{Panas pembakaran di ruang bakar (KJ/jam)}$$

Diketahui:

$$Q_f = 20.871,527 \text{ KJ/kg}$$

$$n = 80\%$$

Sehingga:

$$Q = 16.697,221 \text{ KJ/jam}$$

### Perhitungan Laju Aliran Massa Uap

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

Dengan:

$$M = \text{Laju aliran massa uap dari } boiler \text{ (KJ/jam)}$$

$$Q = \text{Laju panas dari } incinerator \text{ (KJ/jam)}$$

$$h_1 = \text{Entaphy air yang masuk ke } boiler \text{ (KJ/kg)}$$

$$h_2 = \text{Entaphy uap keluar } boiler \text{ (KJ/kg)}$$

Diketahui:

$$\text{Temperatur masuk} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Tekanan pada } boiler = 14 \text{ Mpa}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} h_1 &= 125,8 \text{ KJ/kg (berdasarkan tabel)} \\ h_2 &= 2.637,6 \text{ KJ/kg (berdasarkan tabel)} \\ Q &= 16.697,221 \text{ KJ/jam} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$M = 6,648 \text{ kg/jam}$$

### Nilai Kinerja Turbin Uap

Kinerja turbin diperoleh berdasarkan asumsi suatu turbin adiabatic dengan nilai entalpi uap spesifik yang keluar dari turbin sebesar 1.963,78 KJ/kg dan nilai entalpi uap spesifik yang masuk ke turbin sebesar 2637,6 sehingga diperoleh nilai keluaran kerja turbin uap yang sebenarnya sebesar 673,82 KJ/kg [6].

### Daya yang Dihasilkan Generator

$$N_{\text{efektif}} = W_t \times \quad (4)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} N_{\text{efektif}} &= \text{Daya keluar dari turbin (KW)} \\ W_t &= \text{Keluaran kerja yang dapat diukur} \\ &\text{dari suatu turbin adiabatic yang sebenarnya} \\ &\text{(KJ/kg)} \\ M &= \text{Laju aliran massa uap dari boiler} \\ &\text{(KJ/jam)} \end{aligned}$$

Diketahui:

$$\begin{aligned} W_t &= 673,82 \text{ KJ/kg} \\ M &= 6,648 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} N_{\text{efektif}} &= 4.479,227 \text{ KJ/jam} \\ &= 1.244,329 \text{ Watt} \end{aligned}$$

### Daya Yang Dibangkitkan Oleh generator

$$P_{\text{generator}} = N_{\text{efektif}} \times N_{\text{generator}} \quad (5)$$

Dengan:

$$\begin{aligned} P_{\text{generator}} &= \text{Daya yang dihasilkan oleh} \\ &\text{generator (KW)} \\ N_{\text{generator}} &= \text{Efisiensi generator (\%)} \\ M &= \text{Laju aliran masa uap keluar dari} \\ &\text{ketel (KJ/jam)} \\ N_{\text{efektif}} &= \text{Daya yang keluar dari turbin} \\ &\text{(KW)} \end{aligned}$$

Diketahui:

$$\begin{aligned} N_{\text{generator}} &= 90 \% \\ N_{\text{efektif}} &= 1.244,329 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$P_{\text{generator}} = 1.119,8960 \text{ Watt atau } 1,120 \text{ kW}$$

Sedangkan energi listrik yang dihasilkan selama 1 tahun kalender adalah:

$$1,120 \text{ kW} \times 8.760 \text{ jam} = 9.811,2 \text{ kWh}$$

Total investasi untuk membangun sebuah PLTSa di China adalah sebesar \$250 per ton kapasitas tahunan atau Rp.3.901.825 x 940,13 ton = Rp.3.668.222.737 [16], untuk Besarnya perhitungan penerimaan diasumsikan tenaga listrik yang dapat disalurkan 100% dari daya yang dapat dijual sedangkan asumsi rupiah per kWh sebesar Rp.1.263 (sumber beberapa IPP) maka biaya penerimaan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Penerimaan} &= 9.811,2 \text{ kWh} \times 1.263 \text{ Rp/kWh} \\ &= \text{Rp.12.391.546} \end{aligned}$$

Sementara untuk biaya pengeluaran yang terdiri dari biaya pemeliharaan dan operasional diestimasikan sebesar 10% dari biaya investasi atau sebesar Rp.366.822.274.

### Depresiasi

Umur ekonomis PLTSa diperkirakan sekitar 15 tahun dan pada akhir umur pembangkit tersebut masih ada nilai residu yang tersisa sekitar 10% dari masa pemakaiannya atau sebesar Rp.366.822.274, sehingga penyusutan sebesar

$$\text{Penyusutan} = \frac{\text{Investasi} - \text{Residu}}{15} \quad (6)$$

Diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Investasi} &= \text{Rp.3.668.222.737} \\ \text{Residu} &= \text{Rp.366.822.274} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\text{Penyusutan} = \text{Rp.220.093.364,2} \quad (5)$$

### Penyusunan Cashflow

Penyusunan cashflow menggunakan beberapa asumsi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Discount rate} &= 15\% \\ \text{Discount Factor} &= 25\% \\ \text{Umur ekonomis pembangkit} &= 15 \text{ Tahun} \\ \text{Load Factor} &= 0,65 \end{aligned}$$

### Net Present Value (NPV)

NPV adalah nilai sekarang dari keseluruhan Discounted Cash Flow atau gambaran ongkos total atau pendapatan total proyek dilihat dengan nilai sekarang (nilai pada awal proyek). Secara matematik nilai NPV dapat dinyatakan seperti Persamaan berikut

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - COF \tag{7}$$

Dengan:

- k = Discount rate yang digunakan
- COF = Cash out flow/ Investasi
- CIF = Cash in flow pada periode t
- N = Periode terakhir cash flow diharapkan

Sehingga:

NPV = -Rp.5.736.488.980 (lihat tabel 2 dan 3)

**Internal Rate of Return (IRR)**

IRR adalah besarnya tingkat keuntungan yang digunakan untuk melunasi jumlah uang yang dipinjam agar tercapai keseimbangan ke arah nol dengan pertimbangan keuntungan. IRR ditunjukkan dalam bentuk %/periode dan biasanya bernilai positif ( $I > 0$ ) [17]. Untuk menghitung, IRR dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut [16]:

$$IRR = i_1 + \left( \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1) \tag{8}$$

Dengan:

- IRR = Internal Rate of Return (%)
- NPV<sub>1</sub> = Net Present Value dengan tingkat bunga rendah
- NPV<sub>2</sub> = Net Present Value dengan tingkat bunga tinggi
- I<sub>1</sub> = tingkat bunga pertama (%)
- I<sub>2</sub> = tingkat bunga kedua (%)

Sehingga:

IRR = <0 (lihat tabel 2 dan 3)

**Benefit Cost Ratio (BCR)**

Benefit - Cost Ratio adalah rasio perbandingan antara pemasukan total sepanjang waktu operasi pembangkit dengan biaya investasi awal. Berikut persamaan yang digunakan

$$BCR = \frac{\sum_1^n CIF_t}{Investment\ Cost} \tag{9}$$

Sehingga:

BCR = -0.56 (lihat tabel 2 dan 3)

**Payback Period (PP)**

Payback Period adalah lama waktu yang diperlukan untuk mengembalikan dana investasi. Payback Period dirumuskan dalam persamaan berikut

$$PP = \frac{Investment\ Cost}{Annual\ CIF} \tag{10}$$

Sehingga:

PP = -10.35 (lihat tabel 2 dan 3)

Tabel 3. Hasil Evaluasi Proyek

No	Parameter Evaluasi	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan Proyek
1	NPV	-5,736,488,980	NPV>0
2	PP	-10.35	PP<15
3	BCR	-0.56	BCR>0
4	IRR	<0	IRR>0

Tabel 2. Penyusunan Cashflow Menggunakan Metode Least Cost

TAHUN	Manfaat Bersih	Biaya Investasi	DF	PV Manfaat	PV Biaya	NPV	NCF
1	2	3	4	5=2X4	6=3X4	7=5-6	8=2-3
0		3,668,222,737	1		3,668,222,737	(3,668,222,737)	(3,668,222,737)
1	(354,430,728)		0.870	(308,200,633)	-	(308,200,633)	(354,430,728)
2	(354,430,728)		0.756	(268,000,551)	-	(268,000,551)	(354,430,728)
3	(354,430,728)		0.658	(233,043,957)	-	(233,043,957)	(354,430,728)
4	(354,430,728)		0.572	(202,646,919)	-	(202,646,919)	(354,430,728)
5	(354,430,728)		0.497	(176,214,712)	-	(176,214,712)	(354,430,728)
6	(353,191,574)		0.432	(152,694,464)	-	(152,694,464)	(353,191,574)
7	(353,191,574)		0.376	(132,777,795)	-	(132,777,795)	(353,191,574)
8	(353,191,574)		0.327	(115,458,952)	-	(115,458,952)	(353,191,574)
9	(353,191,574)		0.284	(100,399,089)	-	(100,399,089)	(353,191,574)
10	(353,191,574)		0.247	(87,303,555)	-	(87,303,555)	(353,191,574)
11	(351,828,504)		0.215	(75,623,152)	-	(75,623,152)	(351,828,504)
12	(351,828,504)		0.187	(65,759,263)	-	(65,759,263)	(351,828,504)
13	(351,828,504)		0.163	(57,181,968)	-	(57,181,968)	(351,828,504)
14	(351,828,504)		0.141	(49,723,450)	-	(49,723,450)	(351,828,504)
15	(351,828,504)		0.123	(43,237,783)	-	(43,237,783)	(351,828,504)
<b>TOTAL</b>	<b>(5,297,254,026)</b>	<b>3,668,222,737</b>		<b>(2,068,266,243)</b>	<b>3,668,222,737</b>	<b>(5,736,488,980)</b>	<b>(8,965,476,763)</b>

Berdasarkan perhitungan potensi energi listrik yang dihasilkan dengan kapasitas massa sampah organik di TPA Toisapu dan dari hasil evaluasi kelayakan PLTSa dengan melihat beberapa parameter baik itu NPV, PP, BCR dan IRR maka hasil perhitungan keseluruhannya tidak memenuhi kriteria kelayakan atau dapat dikatakan energi listrik ini tidak berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar dalam teknologi PLTSa.

Beberapa aspek yang mempengaruhi rendahnya potensi energi listrik yang dihasilkan antara lain sampah yang masuk ke TPA Toisapu belum dipilah dan masih menggunakan sistem *open dumping* sehingga kadar air sampah cukup tinggi. Sampah dengan kadar air yang tinggi akan mempunyai kalori yang rendah sehingga lebih sulit diproses dan dibakar dalam *incinerator* yang berpengaruh terhadap energi yang dihasilkan [18], selain itu, jumlah sampah di kota Ambon masih tergolong rendah sehingga belum memadai untuk pembangunan PLTSa. Menurut Qodriyatun (2021), PLTSa termal bisa menjadi solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan lingkungan akibat sampah di kota dengan produksi sampah di atas 1.000 ton/hari [15], sementara itu di Kota Ambon rata-rata jumlah sampah yang dihasilkan per hari di tahun 2020 yaitu 5,7 ton atau sebanyak 5.709,03 kg.

Oleh karena itu diperlukan pengelolaan sampah dengan metode lain untuk bisa menurunkan jumlah timbulan sampah di TPA Toisapu. Menurut Mirr et al. (2021) permasalahan dalam Manajemen limbah perkotaan bersumber pada sumber daya yang tidak memadai, lahan yang tidak memadai untuk pembuangan akhir limbah, kurangnya rencana pengelolaan sampah terpadu, ketidaksadaran masyarakat, kurangnya staf pada TPA, tidak ada penggabungan teknologi modern dan penegakkan hukum dan regulasi yang buruk. Oleh karena itu diperlukan kerja sama dari seluruh komponen terlibat baik masyarakat atau instansi dan perusahaan yang merupakan tempat awal munculnya timbulan sampah serta pemerintah yang memiliki kewenangan dalam memutuskan penggunaan teknologi untuk mengolah dan memanfaatkan sampah sehingga bernilai ekonomis, serta membuat regulasi yang tepat sasaran demi mengoptimalkan pengelolaan sampah dan menurunkan volume sampah di TPA Indonesia idealnya dilakukan pengelolaan sampah melalui pendekatan 3R (*reduce, reuse, dan recycle*) dan berbasis masyarakat serta dilakukan

secara terpadu dengan melaksanakan pengelolaan sejak dari sumbernya [19].

## KESIMPULAN

Hasil analisis potensi daya dan energi listrik yang dapat dibangkitkan dengan kapasitas massa sampah organik 129,545 kg/jam adalah 1.119,8960 Watt atau 1,120 kW dan Energi listrik yang dihasilkan selama 1 tahun kalender adalah 9.811,2 kWh. Berdasarkan hasil evaluasi kelayakan PLTSa dengan melihat beberapa parameter keekonomiannya, nilai NPV sebesar -Rp.5.736.488.980, PP -10.35 tahun, BCR -0.56 dan IRR < 0%, maka hasil perhitungan keseluruhannya tidak memenuhi kriteria kelayakan untuk pembangunan PLTSa atau dapat dikatakan timbulan sampah di TPA Toisapu tidak berpotensi untuk digunakan sebagai bahan bakar dalam teknologi PLTSa.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Ibu Irene M. Sohilit selaku kepala Unit Pelaksana Teknis Daerah Instansi Pengelolaan Sampah Terpadu Kota Ambon yang telah bekerjasama dalam menyediakan data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik Kota Ambon, "Luas Daerah dan Jumlah Pulau Menurut Kecamatan di Kota Ambon, 2019," 2019. <https://ambonkota.bps.go.id/statictable/2020/06/02/200/luas-daerah-dan-jumlah-pulau-menurut-kecamatan-di-kota-ambon-2019.html> (accessed Sep. 10, 2022).
- [2] A. Ruban, E. I. K. dan Putri, and M. Ekayandi, "Willingness to Pay Masyarakat Terhadap Pengolahan Sampah Ramah Lingkungan di TPA Dusun Toisapu Kota Ambon," *JAREE; J. Agric. Resour. Enviromental Econ.*, vol. 1, no. 1, pp. 102–113, 2014, doi: 10.29244/jaree.v1i1.11303.
- [3] U. I. Faruq, "Studi Potensi Limbah Kota Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Kota Singkawang," *J. Tek. Elektro Univ. Tanjungpura*, vol. 2, no. 1, p. 192112, 2016.
- [4] Ruzady, "TPA Toisapu Ditutup Ahli Waris, Ini Permintaan Untuk Pemkot Ambon,"

- Terasmaluku.com*, 2020. <https://terasmaluku.com/headline/2020/10/07/tpa-toisapu-ditutup-ahli-waris-ini-permintaan-untuk-pemkot-ambon/> (accessed Sep. 10, 2022).
- [5] Monice and Perinov, "Analisis Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Di Pekanbaru," *SainETIn (Jurnal Sain, Energi, Teknol. Ind.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–16, 2016, doi: 10.31849/sainetin.v1i1.166.
- [6] R. Samsinar and K. Anwar, "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal)," *J. Elektrum*, vol. 15, no. 2, pp. 33–40, 2018, doi: 10.24853/elektum.15.2.%p.
- [7] Supriyadik, "Analisis Potensi Daya Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kawasan TPA Putri Cempo Surakarta," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2020.
- [8] S. L. Allo and H. Widjasena, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Makbon Kota Sorong," *Electro Luceat*, vol. 5, no. 2, pp. 14–24, 2019, doi: 10.32531/jelekn.v5i2.150.
- [9] A. Roswulandari, A. Daerobi, - Suryanto, and E. Gravitiani, "Waste to Energy (WTE) Putri Cempo As Urban Innovation: A Financial Analysis," *Adv. Eng. Res.*, vol. 156, no. Senvar 2018, pp. 171–174, 2019, doi: 10.2991/senvar-18.2019.25.
- [10] A. R. Mohammad, B. Rochim, and W. W., "Study of The Potential of City Waste as Fuel for Waste Power Plant in Jambi City," *Prot. J. Lingkung. Berkelanjutan*, vol. 2, no. 1, pp. 1–17, 2022.
- [11] I. Rachmad and Syukriyadin, "Studi kelayakan pembangunan pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) di TPA Kota Banda Aceh," in *Seminar Nasional dan Expo*, 2014, no. August 2014, pp. 146–151, [Online]. Available: <http://repository.ub.ac.id/144719/2>.
- [12] Badan Pusat Statistik Kota Ambon, "Jumlah Penduduk Kota Ambon Per Desa Menurut Jenis Kelamin 2016," *ambonkota.bps.go.id*, 2017. <https://ambonkota.bps.go.id/statictable/2017/06/07/12/jumlah-penduduk-kota-ambon-perdesa-menurut-jenis-kelamin-2016.html> (accessed Sep. 10, 2022).
- [13] A. Oni, Subair, and E. Nasution, "Strategi Nafkah Pemulung di Tempat Pembuangan Sampah Akhir Toisapu, Ambon (Sebuah Kajian Sosiologis)," *Dialekt. J. Pemikir. iIslam dan ilmu Sos.*, vol. 8, no. 1, pp. 1–16, 2014, doi: 10.33477/dj.v8i1.207.
- [14] SIPSAN, "Komposisi Sampah Berdasarkan jenis Sampah," *sipsn.menlhk.go.id*, 2020. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi> (accessed Sep. 10, 2022).
- [15] 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.
- [16] J. S. Wu, "Capital Cost Comparison of Waste-to-Energy (WTE), Facilities in China and the U.S.," p. 32, 2018.
- [17] K. Bagus, 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 ARTICLE INFO ABSTRACT," *Dielektrika*, vol. 9, no. 1, pp. 68–79, 2022, doi: 10.29303/dielektrika.v9i1.296.
- [18] Y. Sarasati, R. Azizah, Z. A. Zuhairroh, L. Sulistyorini, C. I. Prasasti, and M. T. Latif, "Analysis of Potential Waste-to-Energy Plant in Final Waste Disposal Sites iIn Indonesia Towards SDGs 2030 (A Literature Review)," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 24–34, 2021, doi: 10.20473/jkl.v13i1.2021.24-34.
- [19] I. S. Mir, P. P. S. Cheema, and S. P. Singh, "Implementation analysis of solid waste management in Ludhiana city of Punjab," *Environ. Challenges*, vol. 2, no. January, p. 100023, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100023.