

Analisis Ketahanan Energi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Metode *Landfill* dan *Thermal* di Tempat Pembuangan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang

¹Benny Tuahta Bangun*, ²Robinson Purba, ³Hakimul Batih, ⁴Stepanus
Magister Teknik Elektro, Universitas Kristen Indonesia

*Alamat korespondensi: bennytuahtabangun@gmail.com

Abstrak

Masalah yang dihadapi kota Jakarta sekarang ini adalah semakin bertambahnya volume sampah yaitu mencapai 7000 ton perhari yang dikirim ke TPST Bantar Gebang yang sekarang ini tidak tertangani dengan baik. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) metode *Landfill* dan *Thermal* di TPST Bantar Gebang dari sudut pandang Ketahanan Energi dengan pengukuran *Energy Supply Security Index (ESSI)* menggunakan 4 dimensi dan 5 indikator pendekatan yaitu : *Availability* (Indikator : *Working hour* per tahun), *Accessability* (Indikator : Akses teknologi), *Affordability* (Indikator: Biaya pembangkitan per kWh) dan *Acceptability* (Indikator : *Avoided CO₂Emission* kg per MWh dan prosentase pengurangan volume sampah per hari). Hasil analisis ketahanan energi didapatkan : aspek *availability* dengan indikator *working hour* per tahun : PLTSa *Landfill*= 0.95, PLTSa *Thermal*= 0.98; aspek *accessability* dengan indikator kemudahan akses teknologi : PLTSa *Landfill* = 0.74, PLTSa *Thermal* = 0.58; aspek *affordability* dengan indikator biaya pembangkitan energi listrik: PLTSa *Landfill* = 0.99, PLTSa *Thermal*= 0.83; aspek *accessability* dengan dua indikator, yaitu *avoided (CO₂)emission* : PLTSa *Landfill* = 1.0, PLTSa *Thermal* = 0.14, dan prosentase pengurangan sampah : PLTSa *Landfill* = 0.50, PLTSa *Thermal* = 0.85.

Kata Kunci: Sampah, landfill, thermal, ketahanan energi.

The problem facing by city of Jakarta today is the increasing volume of waste, reaching 7,000 tons per day sent to Bantar Gebang TPST which is currently not handled properly. The purpose of this research was to analyze the application of Landfill and Thermal Waste Power Plant (PLTSa) in Bantar Gebang TPST from the perspective of Energy Security by measuring Energy Supply Security Index (ESSI) using 4 dimensions and 5 approach indicators : Availability (Indicator: Working hour per year), Accessability (Indicator: Access to technology), Affordability (Indicator: Cost of generation per kWh) and Acceptability (Indicator: Avoided CO₂ Emission kg per MWh and percentage reduction in waste volume per day). Energy security analysis results are obtained: aspects of availability with working hour indicators per year: PLTSa Landfill = 0.95, PLTSa Thermal = 0.98; aspects of accessability with ease of technology access indicators: PLTSa Landfill = 0.74, PLTSa Thermal = 0.58; affordability aspects with indicators of the cost of electricity generation: PLTSa Landfill = 0.99, PLTSa Thermal = 0.983; aspects of accessability with two indicators, avoided (CO₂) emission: PLTSa Landfill = 1.0, PLTSa Thermal = 0.14, and the percentage of waste reduction: PLTSa Landfill = 0.50, PLTSa Thermal = 0.85.

Keywords: *Garbage, landfill, thermal, energy security*

I. Pendahuluan

Masalah yang dihadapi kota Jakarta sekarang ini adalah semakin bertambahnya volume sampah mencapai 7000-8000 ton perhari yang dikirim ke TPST Bantar Gebang. Sampah yang sudah menumpuk, akan melebihi daya tampung kelima zona TPST pada tahun 2021 sehingga menimbulkan dampak lingkungan yang sangat mengkhawatirkan. Lahan TPST sebesar 110 hektare sudah dipenuhi 39 juta ton sampah dengan ketinggian sudah mencapai 40 meter.

Masalah lain yang dihadapi kota Jakarta adalah masalah polusi udara yang semakin memburuk dari hari ke hari. Berdasarkan informasi dari CNA(*Channels News Asia*) dalam laporannya

tanggal 1 Agustus 2019, menyatakan bahwa Jakarta adalah kota yang memiliki kualitas udara terburuk di dunia saat ini dengan indeks sebesar 161 sesuai pengamatan dari monitoring kualitas udara yaitu *Airvisual*. Jakarta terpantau dalam level polusi udara yang tidak sehat sehingga data ini menempatkan Jakarta sebagai kota ke 6 terpolusi di dunia [1]. Selanjutnya, berdasarkan laporan CNBC (*Consumer News and Business Channel*) Indonesia pada tanggal 5 Agustus 2019, aliran listrik di wilayah Jabodetabek dan pulau Jawa padam (*black out*) namun ternyata ditemukan kualitas udara di Jakarta menjadi lebih baik. Dilansir dari *AirVisual*, *Air Quality Index (AQI)* di Jakarta berada pada

level 75 (Moderat) yang berarti kualitas udara dapat diterima, namun untuk beberapa polutan masih ada kekhawatiran untuk beberapa orang yang sensitif dengan polusi udara. Sedangkan Singapura di hari yang sama berada pada level 100. Rentang nilai *AQI* berada pada nilai 0-500. Semakin tinggi nilai *AQI*, maka semakin tinggi pula tingkat polusi udara[2]. Menurut laporan Tempo, 10 Agustus 2019, temuan awal tim peneliti ITB menemukan senyawa organik dalam kandungan debu halus (berukuran 2,5 ppm) di antara polusi udara Jakarta. Kemudian mereka membaginya ke dalam empat fraksi, bagian terbesar memang diidentifikasi dari debu jalanan sebesar 14 persen. Tapi yang mengejutkan, kedua terbesar, yakni sampai 8 persen, identik dengan senyawa yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di PLTU[3]. Masalah sampah dan polusi udara di Jakarta ini merupakan masalah serius yang harus dipikirkan solusinya.

Sampah adalah salah satu contoh Bioenergi yang dapat dipergunakan sebagai sumber energi terbarukan selain panas bumi, air, mini/mikrohidro, surya, angin dan laut. Menurut Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN), telah ditetapkan bahwa porsi energi terbarukan sebesar 23% dari total energi nasional pada 2025 diluar energi lainnya yaitu batubara, gas dan minyak bumi. Dan Pada Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) DKI Jakarta telah ditetapkan target pembangunan PLTSa sebesar 85 MW beroperasi di tahun 2023[4]. Dengan mempertimbangkan peran Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) yang diharapkan dapat mengatasi masalah pengumpulan sampah di TPST Bantar Gebang dan mengurangi ketergantungan terhadap PLTU dan dengan demikian mengurangi kadar pencemaran udara di kota Jakarta yang diakibatkan oleh PLTU tersebut.

Kedua jenis pengolahan sampah yang dibahas dalam penelitian ini yaitu **Landfill (Gasifikasi)** dan **Thermal (Pembakaran)**. Hal ini dilakukan, karena masih sedikit sekali kajian ketahanan energi terkait kedua teknologi ini. Diharapkan, bahwa penelitian ini akan menjawab keraguan yang muncul yaitu sejauh mana dampak kedua teknologi ini bagi penanganan permasalahan sampah, polusi udara dan pencemaran lingkungan dari sudut pandang ketahanan energi. Penelitian ini tentang Analisis *Technoeconomic* yaitu perancangan teknologi dengan menganalisa biaya dikeluarkan untuk implementasi teknologi tersebut. Hal ini mencakup beberapa aspek :

- Biaya Pembangunan energi
- *Feed stock* (bahan baku utama) pembangkit listrik.
- Produksi Listrik

- *Life time* pembangkit listrik tenaga sampah
- Kemudahan akses teknologi
- Lingkungan hidup

II. Kajian Pustaka

2.1 Pembangunan pembangkit listrik DKI Jakarta

Berdasarkan statistik ketenagalistrikan 2018 proyeksi kebutuhan listrik DKI Jakarta pada 2019-2028 terus mengalami peningkatan dari 5.210 MW pada 2019 sampai 7.458 MW pada 2028. Sedangkan pembangkit listrik yang ada yaitu PLTU dan PLTG/PLTGU memiliki kapasitas sebesar 4.185 MW. Dengan demikian perlu adanya rencana pembangunan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Rencana pembangunan pembangkit listrik pada RUPTL 2019 sampai 2028 dengan tambahan kapasitas pembangkit listrik sebesar 885 MW dimana salah satu jenis pembangkit listrik yang direncanakan adalah tambahan pembangunan PLTSa sebesar 85 MW beroperasi di tahun 2023[4]

2.2 Sampah sebagai sumber energi.

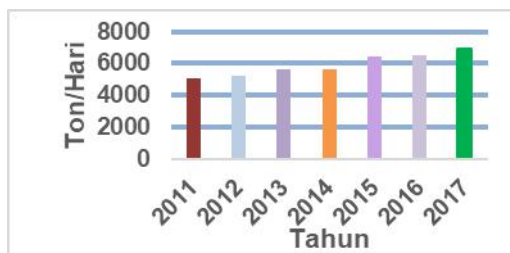
Pada umumnya, sebagian besar sampah yang dihasilkan di Indonesia merupakan **sampah basah**, yaitu mencakup **60-70%** dari total volume sampah. Selama ini pengelolaan persampahan, terutama di perkotaan, tidak dipilah menurut jenis yang dapat didaur ulang (Contoh : sisa makanan, kayu, rumput, kertas) dan yang tidak dapat didaur ulang (Contoh : plastik, kain, karet). Sampah di kota Jakarta terbagi atas sampah **organik** (60%) dan sampah **anorganik** (40%) semua jenis sampah ini bercampur dan bermuara pada TPST Bantar Gebang.

Gambar 2.1 memperlihatkan komposisi sampah di TPST Bantar Gebang, dimana porsi sampah yang paling besar adalah sampah sisa makanan (39%) dan plastik (33%) dan disusul porsi yang lebih kecil yaitu kain (9%), karet/kulit (3%), sampah B3 (Bahan berbahaya dan beracun) (4%), kayu dan rumput (4%), kertas (4%), PET (Polyethylene Terephthalate) (2%) dan lainnya (2%).



Gambar 2.1. Komposisi sampah TPST Bantar Gebang

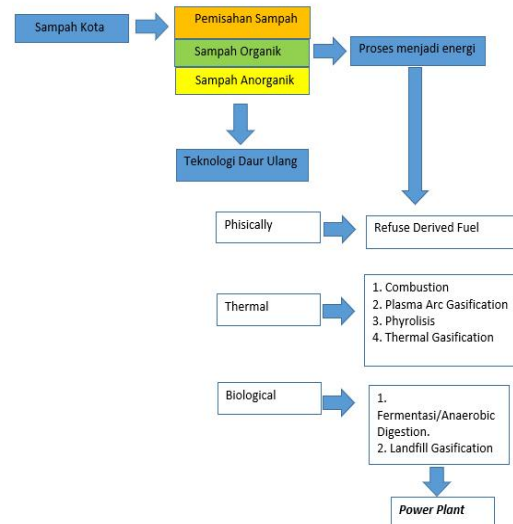
Gambar 2.2 memperlihatkan kecenderungan volume sampah berdasarkan rata-rata volume sampah perhari mulai dari tahun 2011 sekitar 5000 ton dan terus meningkat sampai 2017 sekitar 7000 ton sampah. Berdasarkan pendekatan rumus *CAGR* (Compound Annual Growth Rate) dapat dilihat pertumbuhan sampah meningkat sebesar 5,77% pertahun.



Gambar 2.2 TPST Bantar Gebang , berdasarkan rata rata volume sampah per hari [5]

2.2.1 Teknologi Pengelolaan Sampah

Secara skematis, gambar 2.3 memperlihatkan bagaimana sampah kota diolah berdasarkan 2 kategori, yaitu sampah organik dan sampah non-organik. Selanjutnya didaur ulang melalui 3 jenis teknologi yaitu, secara fisik, termal dan biologis. Pengolahan sampah secara fisik adalah jenis sampah tertentu dapat diolah dan dikonversi menjadi bahan bakar dan secara *thermal* adalah sampah yang dikonversi menjadi panas/heat untuk pembangkitan sumber tenaga listrik dan secara biologis merupakan sampah yang dikonversi menjadi gas, juga untuk pembangkitan sumber tenaga listrik

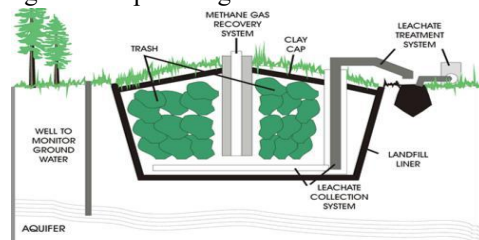


Gambar 2.3 Teknologi PLTSa Sumber:[6]

2.2.1.1 Prinsip Kerja PLTSa Landfill .

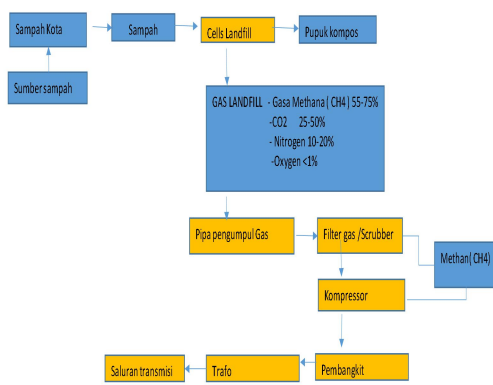
Pada gambar Gambar 2.4 dibawah ini menjelaskan lahan *landfill* tempat menyimpan sampah yang akan diproses untuk pengambilan gas methan. Sampah yang masuk ke dalam lubang *landfill* kemudian ditimbun dengan tanah liat dan ditutup dengan membran agar penguapan gas methan ke udara dapat dicegah.

Gas methan yang dihasilkan dari sumur timbunan sampah disalurkan melalui sistem pipa-pipa yang terhubung ke power house kemudian dikonversi menjadi gas engine dan heat untuk menggerakkan turbin generator yang menghasilkan pembangkitan listrik .



Gambar 2.4 Lahan Landfill Sumber :[7]

Pada gambar 2.5 dibawah ini menjelaskan cara kerja PLTSa *Landfill*. Sampah dari *Landfill* yang berpotensi menghasilkan gas Methan, Karbon dioxide, Nitrogen dan Oxygen kemudian dikumpulkan dalam pipa dan selanjutnya difilter untuk mendapatkan gas methan yang murni. Gas Methan masuk ke kompresor dan akan menggerakkan generator untuk membangkitkan listrik untuk disuplai melalui trafo kesaluran transmisi PLN



Gambar 2.5 Cara Kerja PLTSa *Landfill*
Sumber: [8]

Pada Gambar 2.6 berikut ini menjelaskan proses pengelolaan sampah metode *landfill* pada TPST Bantar Gebang. Sumur gas TPST yang mengkoleksi sampah menyalurkan gas metan melalui **pipa gas** menuju **power house**. Gas metan dimurnikan terlebih dahulu dengan air dan selanjutnya hasil gas metan dimanfaatkan untuk megerakkan engine untuk pembangkitan listrik yang dapat disuplai ke grid PLN .



Gambar 2.6 PLTSa *Landfill* Bantar Gebang
Sumber: [9]

Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan PLTSa *Landfill* dihitung dengan menggunakan persamaan [2.1] sebagai berikut [10]:

$$W_{el} = Q \times HV \times \eta_{el} \quad [2-1]$$

dimana :

W_{el} = Energi Listrik yang dibangkitkan (kWh)

Q = Produksi Gas *landfill* (kg/tahun)

HV = Nilai Kalor Gas *landfill* (kWh/Kg)

η_{el} = Efisiensi Elektrik (%)

Dengan demikian, maka besar daya (P) yang dibangkitkan oleh PLTSa *Landfill*, dapat dihitung berdasarkan persamaan [2.2] sebagai berikut:

$$P = \frac{W_{el}}{8760} \quad [2.2]$$

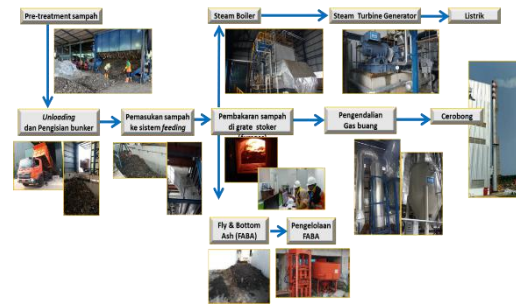
dimana :

P = daya yang dibangkitkan (kW)

8760 = Konstanta jumlah jam / tahun

2.2.1.2 Prinsipkerja PLTSa *Thermal*

Pada Gambar 2.7 berikut ini sistem proses pembangkitan listrik tenaga sampah proses termal. Sampah yang masuk mendapatkan pemilahan sampah terlebih dahulu kemudian di unload untuk pengisian ke dalam **bunker** dan dimasukkan ke system feeding untuk dibakar di **tungku**. Hasil pembakaran berupa uap steam boiler kemudian menggerakkan **turbin steam generator** yang membangkitkan listrik. Disaat bersamaan sisa pembakaran berupa abu /residu dan gas buang, dapat dimanfaatkan dan dikendalikan agar pembuangan melalui cerobong asap pembuangan dapat di minimalisir.



Gambar 2.7: Proses Pembangkitan Listrik Proses Thermal. Sumber: [9]

Menggunakan bahan baku sampah 100 ton perhari dengan nilai kalor 1.500 kkal/kg. Pembakaran didalam tungku pada suhu >800oC, tanpa bahan bakar tambahan. Operasional dengan kapasitas penuh menghasilkan listrik 731,3 kW. Listrik digunakan untuk keperluan internal PLTSa, sebesar sekitar 350 kW yang menghasilkan steam sebanyak 8 ton per jam.

Potensi energi listrik yang dapat dibangkitkan PLTSa *Thermal* dihitung dengan persamaan [2-3] sebagai berikut:

Jumlah kalori (kkal) = jumlah berat jenis sampah x nilai kalori sampah organik.

Jumlah energi (kWh) per hari = jumlah kalori (kkal) x 0.00116(kWh/kkal)

Kapasitas thermal sampah adalah:

$$\frac{\text{Jumlah energi (kWh) / hari}}{\text{Jumlah jam/hari}} \quad [2-3]$$

Daya keluaran pada pada boiler = kapasitas thermal x efisiensi boiler.

Daya netto turbin uap = daya keluaran boiler x efisiensi turbin uap.

Daya keluaran generator = daya netto turbin uap x efisiensi generator.

Setelah didapat daya keluaran generator (kW), maka energi listrik yang dihasilkan per hari dapat ditentukan berdasarkan persamaan [2-4] sebagai berikut:

$$W = P \times t \quad [2-4]$$

dimana:

W : Energi listrik (kWh)

P : Daya keluaran generator (kW)

t : waktu = 24 jam

2.3 Emisi carbon dan gas buang

2.3.1 Emisi pada Pembangkit *Landfill*.

Gas metan (CH₄), merupakan produk gas dominan yang dihasilkan oleh pembuangan sampah. Gas ini dapat menimbulkan efek rumah kaca jika dilepas ke udara dan efek yang ditimbulkan gas metan ini, jauh lebih merusak (21 kali) jika dibandingkan dengan gas karbon dioksida (CO₂) [10]. Dengan adanya sistem pengendalian gas *landfill* dan memanfaatkan gas metan yang dihasilkan oleh *sanitary landfill* sebagai bahan bakar pembangkit listrik, maka hal ini dapat mengurangi pencemaran udara yang disebabkan pelepasan gas metan. Untuk menghasilkan energi listrik sebesar 70.080.000 kWh setiap tahunnya membutuhkan gas metan sebesar 12,493681,44 kg CH₄. Jadi reduksi emisi gas metan yang dilepas ke udara setara dengan 262,363,410,2 kg CO₂ per tahun .

2.3.2 Emisi pada pembangkit Thermal

Emisi pada gas panas hasil pembakaran terdiri dari nitrogen, karbondioksida, uap air, dan residu abu (CO₂,H₂O,O₂ dan N₂). Pada setiap **1000 kg** sampah kota / MSW(Municipal Solid Waste) terdapat komposisi gas buang sebagai berikut: 10-29 gr partikulat,40-50 gr SO₂, 800-900 gr NO_x, 30-40 gr HCL, 5-40mg Hg, **700-900 kg CO₂**[11]. Mengacu pada nilai emisi CO₂ PLTSa Thermal dengan kapasitas pengolahan volume sampah per hari 100 ton/100,000 kg di atas, maka dapat dihitung emisi CO₂ yang dihasilkan pertahun sebesar: 100,000kg /1000 kg x 900 kg CO₂ x 365 hari = 32,850,000 kg CO₂ pertahun.

2.4 Biaya Pembangkitan Energi (*Levelized Cost of Energy*)

Menurut Hakimul Batih [25] Ketiga komponen utama yang menentukan estimasi biaya pembangkitan energi (*LCOE*) PLTSa yaitu : *Fix Capital Cost* , *O & M Cost* dan *Fuel*

Cost . Berikut ini penjelasan dan prosedur penghitungan masing masing komponen.

2.4.1. *Fix Capital Cost (FCC)*

Berikut ini adalah pengertian dan prosedur penghitungan *Fix Capital Cost* . Biaya modal pembangkit listrik dihitung dengan membuat biaya investasi dengan pembagian jumlah biaya yang sama di setiap tahun. Untuk melakukannya, penting untuk menghitung *CRF* (*Capital recovery Factor*). *CRF* didefinisikan sebagai rasio antara nilai tahunan (anuitas) dan nilai sekarang dari aliran biaya tahunan

$$CRF = \frac{i}{[1-(1+i)^{-n}]} \longrightarrow (A/P,i,n) \quad (2.5)$$

r adalah *discount rate* dan

n adalah umur layan pembangkit

Nilai tahunan dari biaya modal pembangkit

listrik, *AC* (Rp/tahun) dapat dinyatakan sebagai , $AC = C * CRF$ (2.6)

di mana *C* (Rp/kW) adalah biaya investasi modal pembangkit listrik .

AC (Rp/kW/tahun) kemudian dinormalisasi ke jumlah tahunan kWh produksi listrik di setiap tahun .

Jika faktor kapasitas pembangkit dan konsumsi internal pembangkit listrik ditandai dengan *cf* dan *ipc*, masing-masing, biaya modal tetap per kWh produksi listrik per tahun, *FCC* (Rp/kWh) dapat dihitung sebagai :

$$FCC = \frac{AC}{\frac{8760 * cf}{(1+ipc)}} = \frac{AC * (1+ipc)}{8760 * cf} \quad (2.7)$$

2.4.2 *Fuel Cost*

Biaya bahan bakar per unit listrik yang dihasilkan, *FC* (Rp /kWh) dihitung sebagai

$$FC = \frac{\sum_i t f c_i * p_i}{G} \quad (2.8)$$

di mana *t f c_i* adalah total konsumsi bahan

bakar tipe *i* di setiap tahun

p_i adalah harga satuan untuk jenis bahan bakar

G adalah total pembangkitan energi listrik di setiap tahun.

2.4.3 *O & M Cost*

(*O&M*) biaya adalah total biaya aktivitas untuk operasi dan pemeliharaan pembangkit listrik termasuk suku cadang, administrasi, upah, asuransi, dll, tetapi tidak termasuk biaya bahan bakar

$$O\&M = \frac{\sum_i o\&m_i * g_i}{G} \quad (2.9)$$

o&m_i (Rp/ kWh) adalah biaya operasi dan pemeliharaan unit untuk pembangkit listrik *i*

g_i (kWh) adalah listrik yang dihasilkan dari pembangkit listrik *i*

G (kWh) adalah total pembangkitan listrik untuk seluruh sistem di setiap tahun

2.5 Ketahanan Energi

Menurut **PP 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) pada Bab I Pasal 1, butir 10**, tertulis ketentuan umum tentang **Ketahanan Energi yang menyatakan bahwa, Ketahanan Energi adalah terjaminnya ketersediaan energi dan akses masyarakat terhadap energi pada harga yang terjangkau dalam jangka panjang dengan tetap memperhatikan perlindungan terhadap lingkungan hidup**[12]. Dalam penelitian ini, analisis ketahanan energi dilakukandengan metode penghitungan **Energi Supply Security Index(ESSI)**, menggunakan 4 dimensi yang dikenal dengan 4A sebagai berikut:

- a. *Availability* (ketersediaan), ketersediaan energi dengan menggunakan sampah sebagai *feedstock* sumber listrik setiap hari secara terus menerus.
- b. *Accessibility* (mudah tercapai), kemudahan akses untuk mendapatkan teknologi.
- c. *Affordability* (keterjangkauan harga), biaya pembangkitan listrik yang terjangkau secara ekonomi bagi penduduk DKI Jakarta.
- d. *Acceptability* (penerimaan), energi yang ramah lingkungan bagi DKI Jakarta merupakan tolak ukur penerimaan PLTSa yang dibangun.

III. Dimensi Dan Indikator Ketahanan Energi

3.3.1 Penentuan Dimensi

Ketahanan energi menggunakan 4 dimensi yang dikenal dengan 4A:

- a. *Availability* (ketersediaan), ketersediaan energi dengan menggunakan sampah sebagai *feedstock* sumber listrik setiap hari secara terus menerus.
- b. *Accessibility* (mudah tercapai), sumber energi mudah didapat/diakses.
- c. *Affordability* (keterjangkauan harga), harga energi yang terjangkau oleh masyarakat.
- d. *Acceptability* (penerimaan), sumber energi yang ramah lingkungan.

3.3.2 Penentuan Indikator

Setelah dimensi ditentukan, maka ditetapkan indikator seperti yang disajikan dalam tabel 3.1.

Tabel 3.1: Tabel Indikator

No.	Aspek	Indikator	Keterangan
1	<i>Availability</i>	<i>Working hour</i>	Lama mesin

selama 1 tahun (jam) beroperasi selama 1 tahun (jam)

2	<i>Accessibility</i>	Kemudahan akses terhadap teknologi (jumlah)	Kemudahan dalam aspek : penguasaan teknologi, pengadaan komponen dan suku cadang , pengadaan tenaga kerja , pembangkit yang sudah beroperasi (jumlah)
3	<i>Affordability</i>	Biaya satuan energi listrik (Rp/kWh)	Biaya pembangkitan listrik / kWh
4	<i>Acceptability</i>	a. <i>Avoided CO₂(kg CO₂ Emision/MWh)</i> b. Pengurangan sampah (ton/hari)	Besarnya emisi CO ₂ yang dihindari per 1 MWh listrik Prosentase volume sampah yang dikurangi perhari

3.3.3 Penentuan Skenario

Dalam penelitian ini, skenario untuk penilaian ketahanan energi kedua jenis pembangkit listrik tenaga sampah dan keterkaitan terhadap RUPTL DKI Jakarta 2019 dimana ditetapkan pembangunan PLTSa pada tahun 2023 dengan kapasitas terpasang 85 MW. Dengan demikian, maka ditetapkan skenario sebagai berikut:

- a. Kondisi *business as usual* (BAU): Analisa ketahanan energi dan suplai daya listrik dengan menggunakan PLTSa *Landfill*
- b. Kondisi alternatif: Analisa ketahanan energi dan suplai daya listrik dengan menggunakan PLTSa *Thermal*

3.3.4 Pengumpulan data dan parameter (nilai absolut)

Pengumpulan nilai absolut PLTSa *Landfill* dan *Thermal* ditentukan dari hasil data dan parameter setiap indikator sesuai dimensi ketahanan energi. Tabel 3.2 memperlihatkan data dan parameter (nilai absolut) tersebut. Sumber data pada tabel ini sesuai hasil pembahasan dalam **BAB IV**, yaitu: 1. *Working Hour* (Bab 4 .1.1 point a,b); 2. Akses Teknologi (Bab 4.1.2); 3. Biaya pembangkitan

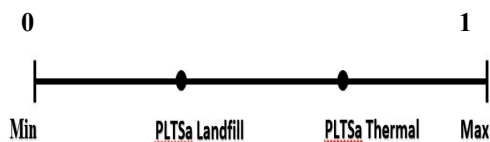
per kWh(Bab 4.1.3); 4.Avoid CO2 Emission kg/ MWh(Bab 4.1.4); 5.Prosentase pengurangan volume sampah (%) (Bab.4.1.5)

Tabel 3.2: Data dan parameter (nilai absolut).

Indikator	Landfill	Thermal
1 Working Hour	8400 jam	8568 jam
2 Akses Teknologi	37	29
3 Biaya pembangkitan listrik per kWh	Rp406,89	Rp. 1767
4 Avoid CO2 Emission kg/ MWh	7780	1064
5 Prosentase pengurangan volume sampah (%)	50%	85%

3.3.5 Penentuan Nilai Relatif Kondisi BAU (PLTSa Landfill) dan kondisi alternatif (PLTSa Thermal).

Sebelum penilaian dilakukan, terlebih dahulu ditentukan nilai minimum dan nilai maksimum (normalisasi) yang akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan skor indikator yang akan menunjukkan besar nilai tiap indikator ESSI terhadap masing masing pembangkit (PLTSa Landfill dan Thermal) yang akan dianalisa. Tujuan normalisasi adalah, agar nilai absolut dapat ditransformasikan dalam skor antara 0 dan 1 (nilai minimum dan maksimum).Penentuan nilai minimum-maksimum, dan nilai relatif disajikan dalam ilustrasi pada gambar 3.1



Gambar 3.1: Ilustrasi Nilai Relatif Kondisi BAU (PLTSa Landfill) dan Alternatif (PLTSa Thermal) Terhadap Nilai Acuan (Min-Maks).

Sebagai contoh didalam tabel 3.3 nilai relatif dibawah ini didapatkan nilai indikator *working hour* PLTSa Landfill sebesar **0.95** dan PLTSa Thermal sebesar **0.98**. Nilai minimum 0 adalah kondisi jika listrik tidak tersedia sama sekali. Dan nilai maksimum 1 adalah kondisi jika listrik tersedia selama 365 hari selama @ 24 jam (8760 jam). Dengan menggunakan metode yang sama, didapatkan nilai relatif dari indikator lainnya yang dapat dilihat dalam tabel nilai relatif tersebut. Sumber data pada tabel ini sesuai hasil pembahasan dalam **BAB IV**, yaitu: Indeks Ketahanan Energi (Bab 4.2)

Tabel 3.3 Tabel Nilai Relatif

Indikator	Landfill	Thermal
1 Working Hour	0.95	0.98
2 Akses Teknologi	0.74	0.58
3 Biaya pembangkitan listrik Per kWh	0.99	0.83
4 Avoided CO2 Emission kg /MWh	1.0	0.14
5 Prosentase Pengurangan Vol. sampah	0.50	0.85
Average	0.84	0.68

Nilai relatif kondisi BAU (PLTSa Landfill) dan kondisi alternatif (PLTSa Thermal) berdasarkan nilai minimum-maksimum dalam setiap indikator, ditentukan berdasarkan persamaan [3.1] dan [3.2] sebagai berikut:

$$a. N_{BAU} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [3.1]$$

$$b. N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [3.2]$$

3.3.5.1 Aspek Availability

Aspek *availability*, dinilai dengan indikator kehandalan mesin pembangkit sebagai sumber listrik secara terus menerus dalam satu tahun. Nilai minimum-maksimum sebagai acuan untuk penilaian, ditentukan sebagai berikut:

- Apabila listrik tersedia terus menerus tanpa ada gangguan dan/atau terjadipemadaman, sehingga setiap tahun masyarakat mendapat pasokan listrik selama 365 hari \times @24 jam = 8760 jam, maka nilai yang ditetapkan adalah 1(nilai maksimum).
- Apabila listrik tidak tersedia sama sekali, maka nilai yang ditetapkan adalah 0 (nilai minimum). Berdasarkan kriteria diatas maka PLTSa Landfill dan PLTSa Thermal akan dinilai berdasarkan hal-hal berikut:

PLTSa Landfill

Dari total turbin sebanyak 10 unit turbin, pemadaman untuk pemeliharaan unit turbin dilakukan bergantian, saat 1 (satu) unit turbin dilakukan pemeliharaan, 9 unit lainnya tetap beroperasi normal menghasilkan listrik.

Waktu pemeliharaan untuk setiap turbin di alokasikan 4 jam perminggu (=16 jam per bulan atau 192 jam per tahun)

Waktu pembentukan sampah menjadi gas Methan antara 7-30 hari [13] Diasumsikan dalam masa minimal 7 hari 1 unit tidak dapat memproduksi listrik maka down time hour: $7 \times 24 = 168$ jam

Down time hour PLTSa Landfill sebesar $192 + 168 = 360$ jam/tahun, sehingga *working hour* dalam 1 tahun adalah: $8760 - 360 = 8400$ jam /tahun

PLTSa Thermal

Dari 1 unit turbin yang ada saat ini, pemadaman untuk pemeliharaan unit 1 unit turbin. Waktu pemeliharaan untuk setiap turbin

dialokasikan 4 jam perminggu (=16 jam per bulan atau 192 jam per tahun).

Downtime hour PLTSa*Thermal* sebesar 192 jam/tahun maka **working hour** dalam 1 tahun adalah: $8760 - 192 = 8568$ jam/tahun.

3.3.5.2 Aspek *Accessability*

Aspek *accessability*, dilihat dengan indikator kemudahan akses mendapatkan teknologi *thermal*.

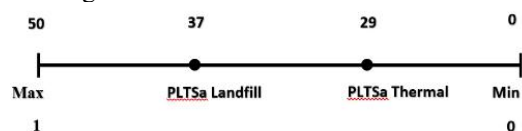
Nilai minimum-maksimum sebagai acuan untuk penilaian, ditentukan sebagai berikut:

- Apabila kemudahan akses mendapatkan teknologi paling bagus, maka nilai yang ditetapkan adalah 1 (nilai maksimum) dengan parameter: penguasaan teknologi, pengadaan komponen dan suku cadang, pengadaan tenaga kerja, jumlah pembangkit yang sudah beroperasi.
- Apabila, kemudahan akses mendapatkan teknologi paling jelek maka nilai yang ditetapkan adalah 0 (nilai minimum) dengan parameter: penguasaan teknologi, pengadaan komponen dan suku cadang, pengadaan tenaga kerja, jumlah pembangkit yang sudah beroperasi.
- Sebagai nilai kualitatif dapat dilihat dalam tabel 3.4. Skor setiap parameter adalah 0 sampai 10. Angka 0 adalah angka terjelek dan sepuluh(10) adalah angka terbagus.

Tabel 3.4 Tabel skor parameter

PLTSa Landfill	Score	PLTSa Thermal	Score
Penguasaan teknologi	10	Penguasaan teknologi	8
Pengadaan suku cadang	9	Pengadaan suku cadang	7
Pengadaan tenaga kerja	8	Pengadaan tenaga kerja	8
Pembangkit yang beroperasi	10	Pembangkit yang beroperasi	6
Total	37	Total	29

Nilai maksimum (1) diasumsikan sebagai kondisi maksimum skor total parameter pembangkit (50) dan nilai minimum adalah (0) diasumsikan dengan skor total minimum parameter pembangkit (0) seperti ilustrasi dalam gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Ilustrasi skor total parameter pembangkit

3.3.5.3 Aspek *Affordability*

Aspek *affordability* dinilai dengan indikator harga satuan energi listrik (Rp/kWh). Parameter yang diharapkan untuk dicapai, adalah harga energi listrik yang murah sehingga terjangkau oleh masyarakat.

Nilai minimum-maksimum sebagai acuan untuk penilaian, ditentukan sebagai berikut:

- Harga satuan energi listrik (Rp/kWh) yang paling murah, ditetapkan dengan nilai 1 (nilai maksimum). Dalam penelitian ini digunakan harga per kWh dari pembangkit listrik tenaga air (harga satuan energi terendah dari pembangkit listrik yang ada di Indonesia)[14]
 - Harga satuan energi listrik (Rp/kWh) yang paling mahal, ditetapkan dengan nilai 0 (nilai minimum). Dalam penelitian ini digunakan harga per kWh dari pembangkit listrik tenaga surya (harga satuan energi tertinggi dari pembangkit listrik yang ada di Indonesia)[15]
- Berdasarkan kriteria diatas, maka PLTSa *Landfill* dan PLTSa *Thermal* akan dinilai berdasarkan hal-hal sebagai berikut:
- Biaya pembangkitan energi PLTSa *Landfill*, adalah komponen penilaian untuk PLTSa *Landfill* (nilai absolut PLTSa *Landfill*).
 - Biaya Pembangkitan energi PLTSa *Thermal*, adalah komponen penilaian untuk PLTSa *Thermal* (nilai absolut PLTSa *Thermal*).

Harga satuan energi listrik PLTSa *Landfill* dan PLTSa *Thermal* yang didapat berdasarkan hasil perhitungan, akan dibandingkan secara proporsional terhadap kriteria nilai maksimum dan nilai minimum diatas, sehingga didapat suatu besaran nilai untuk mengukur ketahanan energi berdasarkan aspek *affordability*.

3.3.5.4 Aspek *Acceptability*

PLTSa merupakan jenis pembangkit listrik *renewable energi* dengan *biogenic emission*. Dengan membangun PLTSa, maka sama artinya dengan menghindari pembangunan pembangkit listrik fosil yaitu PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap). Dengan demikian, PLTSa dapat menghasilkan *avoided CO₂ emission* (emisi yang dihindari). Contoh pada PLTSa *Landfill*, Gas CH₄ (methan) yang dibakar menghasilkan listrik per 1 kWh yang artinya menghindari 1 kWh dari PLTU. Hasil *Avoided CO₂ emission* PLTSa *Landfill* juga berarti besarnya jumlah pelepasan gas methan ke udara yang dapat dihindari.

Aspek *acceptability*, dalam penelitian ini ada 2 (dua) indikator yang digunakan untuk penilaian, yaitu indikator *avoided CO₂ emission*, dan indikator pengurangan volume sampah. Parameter yang diharapkan dapat dijabarkan sebagai berikut:

- Indikator *Avoided CO₂ emission*
 Nilai minimum-maksimum sebagai acuan untuk penilaian, ditentukan sebagai berikut:
 - Apabila sumber pembangkit listrik menghasilkan *avoided CO₂ emission*, paling banyak maka ditetapkan dengan nilai 1 (nilai maksimum).

2. Sedangkan apabila sumber pembangkit listrik tidak menghasilkan *avoided CO₂emission*, maka ditetapkan dengan nilai 0 (nilai minimum). Dalam penelitian ini digunakan pembangkit yang menghasilkan *avoided CO₂ emission* paling tinggi diantara semua jenis pembangkit listrik tenaga sampah adalah PLTSa *Landfill* [16]

- Indikator Pengurangan sampah. Nilai minimum-maksimum sebagai acuan untuk penilaian, ditentukan sebagai berikut:
 1. Apabila sumber pembangkit listrik mengurangi sampah paling banyak perhari, maka ditetapkan dengan nilai 1 (nilai maksimum).
 2. Sedangkan apabila sumber pembangkit listrik mengurangi sampah paling sedikit, maka ditetapkan dengan nilai 0 (nilai minimum). Gambar 3.5 di bawah ini merupakan ilustrasi pengurangan sampah. Skenario ilustrasi ditentukan sedemikian bahwa, jika sampah berkurang sebanyak 100% dalam sehari konsumsi sampah, maka nilainya adalah 1 (nilai maksimum) dan jika sampah tidak berkurang sama sekali dalam sehari konsumsi sampah, maka nilainya adalah 0 (nilai minimum). Gambar 3.5 memperlihatkan bahwa, pengurangan volume sampah terbesar (85%) adalah dengan metode PLTSa *Thermal* sedangkan pengurangan volume sampah sebesar (25%) adalah dengan PLTSa *Landfill*.



Gambar 3.3: Ilustrasi pengurangan sampah

3.4 Prosedur penghitungan biaya pembangkitan

Prosedur penghitungan biaya pembangkitan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

a. PLTSa *Landfill*

Biaya pembangkitan Menurut Isworo [10], biaya investasi yang diperlukan untuk membangun PLTSa *Landfill* Gas di TPA Bantar Gebang adalah:

1. Sistem pengumpul gas. Biaya sistem pengumpul gas terdiri dari konstruksi *sanitary landfill*, instalasi sumur gas, sistem pemipaan dan sistem pengolahan air sampah adalah sebesar **Rp.72,440,800,000**.
2. Unit pembangkit mesin gas. Harga 1 unit mesin gas **Jenbacher J320GS** dengan kapasitas 1 MW adalah Rp.2,916,400,000, sehingga untuk membangkitkan daya listrik sebesar 10 MW,

dibutuhkan 10 unit mesin gas. Biaya yang dibutuhkan adalah:

$$10 \times \text{Rp } 2,916,400,000 = \text{Rp.29,164,000,000}$$

Biaya infrastruktur.

Biaya infrastruktur terdiri dari gedung PLTSa, kantor, gudang, jalan masuk, dan kolam penampung air sampah adalah sebesar **Rp.63,406,400,000**

Alat-alat elektromekanik seperti pemisah gas metan dan air, pendingin gas metan, radiator beserta instalasinya *blower* dan lain lain. Biaya yang diperlukan sebesar **Rp.16,495,600,000**

Dengan demikian, total **biaya investasi** yang diperlukan untuk membangun PLTSa *landfill* di TPA Bantar Gebang adalah :

$$\text{Total biaya investasi} = \text{Rp}72,440,800,000 + \text{Rp } 63,406,400,000 + \text{Rp}29,164,000,000 + \text{Rp } 16,495,600,000 = \text{Rp } \mathbf{181,506,800,000}.$$

Berdasarkan perhitungan tiga komponen utama yaitu : Fix Capital cost, Unit Fuel Cost dan O & M Cost maka pada tabel 3.5 Biaya Pembangkitan listrik PLTSa *Landfill* dapat dihitung biaya pembangkitan energi (LCOE) sebesar **Rp.406,89/kWh**

Tabel 3.5 Biaya pembangkitan listrik PLTSa *Landfill*

Tipe PLTSa	FCC Rp/kWh	UFC Rp/kWh	O&M Rp/kWh	Electricity generation cost Rp/kWh	Unit generated kWh
Landfill	355,04	-24,80	76,66	406,89	59727272,73

Sumber: Penulis, 2020 (Dialah)

b. PLTSa *Thermal*

Biaya investasi pembangkit bersumber dari APBD/APBN 2019 (Info resmi Ka.BPPT-Semnas PLTSa 23 Oktober 2019) sebesar **Rp 88 Miliar** untuk alokasi : Bunker ,sistem ruang bakar, turbin generator,unit pengendali pencemaran udara, sistem pre treatment pemilahan sampah serta operasional kantor.

Kapasitas sebesar 100 ton sampah/hari, dan mampu menghasilkan listrik sekitar 700 kW . Biaya investasi PLTSa *Thermal* bantar gebang sebesar Rp 88.000.000.000 [17]

Berdasarkan perhitungan tiga komponen utama yaitu : Fix Capital cost, Unit Fuel Cost dan O & M Cost maka pada tabel 3.6 biaya pembangkitan listrik PLTSa *Thermal* dapat dihitung biaya pembangkitan energi (LCOE) sebesar **Rp. 1767,64 / kWh**

Tabel 3.6 Biaya pembangkitan listrik PLTSa *Thermal*

Tipe PLTS	FCC	UFC	O&M	Electricity generation cost	Unit
	Rp/kWh	Rp/kWh	Rp/kWh	Rp/kWh	kWh
Thermal	1692,47	-1,49	76,66	1767,64	

Sumber: Penulis, 2020 (Diolah)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Ketahanan Energi

Pengambilan data untuk pembahasan bab ini diambil dari data BAB III mengenai dimensi, indikator dan parameter ketahanan Energi dengan Metode *ESSI* untuk membandingkan ke dua jenis pembangkit yang ada yaitu : PLTSa Landfill dan PLTSa Thermal . Dalam pembahasan selanjutnya data dibawah ini akan diolah dan dianalisa lebih lanjut dengan perhitungan berdasarkan nilai N_{BAU} (LANDFILL) terhadap N_{ALT} (THERMAL) . Sesuai langkah yang ditentukan pad Bab III, maka hasilnya adalah sesuai perhitungan *ESSI* sebagai berikut :

$$ESSI = W_1 \cdot I_1 + W_2 \cdot I_2 + \dots + W_n \cdot I_n \quad [4-1]$$

$$W_1 = W_2 = \dots = W_n$$

W : Bobot indikator

I : Indikator

Nilai *ESSI* adalah total nilai indikator yang dihasilkan dengan penetapan kondisi bobot tiap indikator adalah sama.

4.1.1 Aspek *Availability* (indikator *working hour*)

- a. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai **PLTSa Landfill**, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{BAU(LANDFILL)} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [4-2]$$

Downtime hour PLTSa Landfill diasumsikan sebesar 360 jam per tahun dalam pembahasan Bab , maka **working hour** dalam 1 tahun adalah : $8760 - 360 = 8400$ jam

$$\text{Nilai PLTSa Landfill} = 1 - \frac{8.760 - 360}{8.760 - 0} = 1 - \frac{8.400}{8.760} = 0.95$$

- b. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai **PLTSa Thermal**, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [4-3]$$

Downtime hour untuk PLTSa Thermal diasumsikan sebesar 192 jam per tahun dalam

pembahasan Bab , maka **working hour** dalam 1 tahun adalah : $8760 - 192 = 8568$ jam

$$\text{Nilai PLTSa Thermal} = 1 - \frac{8.760 - 8.568}{8.760 - 0} = 1 - \frac{192}{8.760} = 0.98$$

Penilaian untuk aspek *availability* disajikan dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Penilaian untuk Aspek *Availability*

	Maksimum	PLTSa Landfill	PLTSa Thermal	Minimum
Ketersediaan listrik setiap hari dalam setahun	Listrik tersedia tanpa pemadaman: per tahun = 8.760 jam	Produksi listrik PLTSa Landfill per tahun (jam) = 8.760-360 = 8400 jam	Produksi listrik PLTSa Thermal per tahun (jam) = 8.760-192 = 8.568 jam	Tanpa ketersediaan listrik
	8.760	8.400	8.568	0
Nilai	1	0.95	0.98	0

Dalam tabel 4.1 dibandingkan ketersediaan listrik antara PLTSa Landfill dan PLTSa Thermal dalam durasi produksi listrik. Dapat dilihat bahwa nilai waktu *downtime hour* PLTSa Thermal lebih kecil. *Downtime hour* ini termasuk masa maintenance dalam setahun. Tidak seperti PLTSa Landfill , selain memiliki masa *downtime hour maintenance* yg sama dengan Landfill tapi juga karena ada masa tunggu pembentukan gas Methan yang memakan waktu 7-30 hari. Ini yang membuat *Down time hour Landfill* lebih lama dibanding Thermal [13]

- 2 Aspek *Accessibility* (indikator kemudahan akses teknologi)

- a. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSa Landfill, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{BAU} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [4-4]$$

$$\text{Nilai Landfill} = 1 - \frac{50 - 37}{50 - 0} = 1 - \frac{13}{50} = 0.74$$

- b. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSa Thermal, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [4-5]$$

$$\text{Nilai Thermal} = 1 - \frac{50 - 29}{50 - 0} = 1 - \frac{21}{50} = 0.58$$

Penilaian untuk aspek *accessibility* disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2 Penilaian untuk Aspek *Accessibility*

	Maksimum	PLTSA Landfill	PLTSA Thermal	Minimum
Kemudahan dalam aspek : penguasaan teknologi, pengadaan komponen dan suku cadang, pengadaan tenaga kerja, pembangkit yang sudah beroperasi	Kondisi termudah mendapatkan akses teknologi, tenaga kerja dan pembangkit yang ada	Kondisi kemudahan akses teknologi, tenaga kerja, suku cadang PLTSA Landfill	Kondisi kemudahan akses teknologi, tenaga kerja, suku cadang PLTSA Thermal	Kondisi tersulit untuk mendapatkan akses teknologi, tenaga kerja dan pembangkit yang ada
	50	37	29	0
Nilai	1	0.74	0.58	0

Dari tabel 4.2 diatas, dapat dilihat PLTSA Landfill memiliki nilai lebih tinggi dari PLTSA Thermal. Kondisi kemudahan akses teknologi PLTSA landfill lebih baik karena terbukti mayoritas semua pembangkit listrik tenaga sampah yang ada di Indonesia masih menggunakan landfill karena mudah didapatkan secara teknologi, tenaga dan suku cadang. Sebaliknya PLTSA thermal saat ini masih terus dipelajari dan uji coba karena tenaga ahli dan suku cadang masih bergantung dengan pihak/sumber dari luar negeri.

4.1.3 Aspek *Affordability*(indikator biaya pembangkitan listrik)

Rumusan dan Penilaian

- Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSA *Landfill*, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{BAU} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [4-6]$$

Dengan perhitungan *LCOE*, PLTSA *Landfill* sebesar Rp. 406,89 /kWh, maka:

$$\text{Nilai PLTSA Landfill} = 1 - \frac{388 - 406,89}{388 - 8786} = 1 - \frac{-18,89}{-8398} = 0,99$$

- Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSA *Thermal*, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad [4-7]$$

Dengan perhitungan *LCOE*, PLTSA *Thermal* sebesar Rp./kWh, maka:

$$\text{Nilai PLTSA Thermal} = 1 - \frac{388 - 1767,64}{388 - 8786} = 1 - \frac{-1379,64}{-8398} = 0,83$$

Penilaian untuk aspek *affordability* disajikan dalam tabel 4.3

Tabel 4.3 Penilaian untuk Aspek *Affordability*

	Maksimum	PLTSA Landfill	PLTSA Thermal	Minimum
Harga satuan energi listrik (Rp/kWh)	Biaya pokok penyediaan tenaga listrik nasional tahun 2015, berdasarkan RUEN (PP no.79 thn 2014); untuk PLTA	388	406,89	1767,64
Biaya pokok penyediaan tenaga listrik nasional tahun 2015, berdasarkan RUEN (PP no.79 thn 2014); untuk PLTSA				8,786
Nilai	1	0,99	0,83	0

Dalam table diatas terlihat bahwa PLTSA Thermal masih lebih mahal dalam hal biaya pembangkitan listrik dikarenakan faktor faktor dalam biaya investasi awal.

4 Aspek *acceptability*(indikator avoided CO₂emission)

- a. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSA *Landfill*, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{BAU} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad (4-8)$$

$$\text{Nilai PLTSA Landfill} = 1 - \frac{7.780 - 7.780}{7.780 - 0} =$$

$$1 - 0 = 1$$

- b. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSA *Thermal*, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks}) - N(\text{absolut})}{N(\text{maks}) - N(\text{min})} \quad (4-9)$$

$$\text{Nilai PLTSA Thermal} = 1 - \frac{7.780 - 1.064}{7.780 - 0} = 1 - 0,86 = 0,14$$

Penilaian untuk aspek *acceptability*, Indikator *Avoided Emisi CO₂* disajikan berikut ini
Tabel 4.4 Penilaian untuk Aspek *Acceptability*, Indikator *Avoided Emisi CO₂*

	Maksimum	PLTSA Landfill	PLTSA Thermal	Minimum
<i>Avoided CO₂ emission (kg CO₂/MWh)</i>	Kondisi maksimum dimana sebuah pembangkit paling banyak menurunkan emisi CO ₂	PLTSA Landfill Menghasilkan avoided CO ₂ emission	PLTSA Thermal Menghasilkan avoided CO ₂ emission	Kondisi minimum dimana sebuah pembangkit tidak menurunkan emisi CO ₂
	7,780	7,780	1,064	0
Nilai	1	1	0,14	0

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai PLTSA Landfill lebih besar dari PLTSA Thermal, karena dapat menghindarkan kadar emisi CO₂ lebih banyak. Nilai *avoided CO₂ emission* Landfill (7,780 kg CO₂/MWh) dan thermal (1,064 kg CO₂/MWh) berdasarkan penulisan dari sumber terkait [16]

4.1.5 Aspek *acceptability*(indikator pengurangan sampah)

- c. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSa *Landfill*, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{BAU} = 1 - \frac{N(\text{maks})-N(\text{absolut})}{N(\text{maks})-N(\text{min})} \quad (4-10)$$

$$\text{Nilai PLTSa Landfill} = 1 - \frac{100-25}{100-0} =$$

$$1 - \frac{75}{100} = 0.25$$

- d. Rumusan yang digunakan untuk menentukan nilai PLTSa *Thermal*, ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$N_{ALT} = 1 - \frac{N(\text{maks})-N(\text{absolut})}{N(\text{maks})-N(\text{min})}$$

$$(4-11)$$

$$\text{Nilai PLTSa Thermal} =$$

$$1 - \frac{100-85}{100-0} = 1 - 0.96 = 0.85$$

Penilaian untuk aspek *acceptability*, Indikator Pengurangan Sampah disajikan dalam Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel 4.5 Penilaian untuk Aspek *Acceptability*, Indikator Pengurangan Sampah

	Maksimum	PLTSa Landfill	PLTSa Thermal	Minimum
Prosentase Pengurangan volume sampah perhari(%)	Prosentase pengurangan volume sampah paling banyak perhari (%)	Prosentase pengurangan volume sampah perhari dengan metode Landfill(%)	Prosentase pengurangan volume sampah perhari dengan metode Thermal (%)	Prosentase pengurangan sampah paling minimum perhari (%)
	100	50	85	0
Nilai	1	0.50	0.85	0

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai PLTSa *Thermal* lebih besar dari PLTSa *Landfill*, karena PLTSa *Thermal* sangat efektif dan mampu mrmgurangi sampah secara cepat dan volume paling banya

4.2 Indeks Ketahanan Energi

Setelah melakukan penelitian dan analisis berdasarkan aspek ketahanan energi, didapatkan resume nilai PLTSa *Landfill* dan PLTSa *Thermal* yang disajikan dalam tabel 4.6 sebagai berikut:

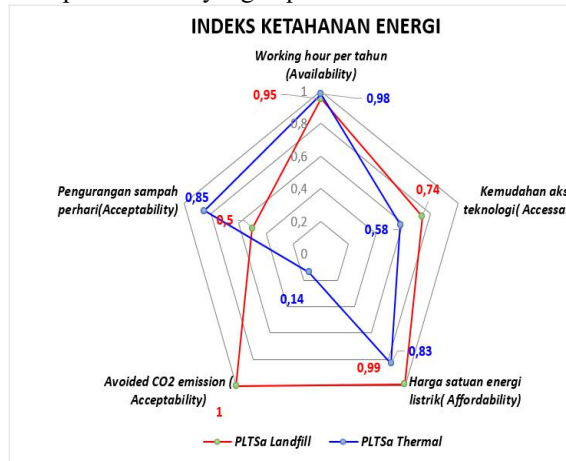
Tabel 4.6 Resume Nilai PLTSa *Landfill* dan PLTSa *Thermal*

No.	Aspek	Indikator	PLTSa Landfill	PLTSa Thermal
1	<i>Availability</i>	Working hour per tahun	0.95	0.98
2	<i>Accessability</i>	Kemudahan akses teknologi	0.74	0.58
3	<i>Affordability</i>	Biaya pembangkitan energi listrik	0.99	0.83
4	<i>Acceptability</i>	Avoided CO ₂ emission	1.0	0.14
		Pengurangan sampah perhari (%)	0.50	0.85
TOTAL SKOR			4,18	3,38
RATA-RATA			0,84	0,68

Berdasarkan resume nilai PLTSa *Landfill* dan *Thermal* diatas dapat diketahui perbandingan sebagai berikut :

- Aspek *Availability*, indikator *working hour* pertahun, dapat dilihat bahwa nilai PLTSa *Landfill* lebih kecil dibandingkan PLTSa *Thermal* dikarenakan down time PLTSa *Landfill* lebih besar karena ada masa tunggu pembentukan gas Methan maksimal 7 hari dengan asumsi *downtime* maintenance mesin kedua pembangkit adalah sama. Di satu sisi nilai PLTSa *Thermal* lebih besar dikarenakan feedstock sampah dapat langsung dikonversi ke steam uap panas untuk proses pembangkitan energi listrik.
- Aspek *Accessability*, indikator kemudahan akses teknologi, dapat dilihat PLTSa *Landfill* memiliki nilai lebih besar dari PLTSa *Thermal*. Kondisi kemudahan akses teknologi PLTSa *landfill* lebih baik karena terbukti mayoritas semua pembangkit listrik tenaga sampah yang ada di Indonesia masih menggunakan *landfill* karena mudah didapatkan secara teknologi, tenaga dan suku cadang. Sebaliknya PLTSa *Thermal* saat ini masih terus dipelajari dan uji coba karena tenaga ahli dan suku cadang masih bergantung dengan sumber dari luar negeri.
- Aspek *Affordability*, indikator biaya pembangkitan listrik, dapat dilihat bahwa nilai PLTSa *Thermal* lebih kecil yang berarti dalam hal biaya pembangkitan listrik lebih mahal dikarenakan faktor faktor dalam biaya investasi awal (biaya infrastruktur, operasional dan pemeliharaan, daya yang dihasilkan selama *life time* pembangkit). Di satu sisi PLTSa *Landfill* nilainya lebih besar yang berarti lebih murah sehingga lebih terjangkau oleh masyarakat.
- Aspek *Acceptability*, indikator avoided CO₂ emission, dapat dilihat bahwa nilai PLTSa *Landfill* lebih jauh lebih besar dari PLTSa *Thermal*, karena dapat menghindarkan kadar emisi CO₂ lebih banyak. Nilai *avoided CO₂ emission* *Landfill* (7,780 kg CO₂/MWh) dan *thermal* (1,064 kg CO₂/MWh) menunjukkan PLTSa *Landfill* lebih ramah lingkungan dibandingkan PLTSa *Thermal*

- e. Aspek *Acceptability*, indikator pengurangan sampah perhari, dapat dilihat bahwa nilai PLTSA *Thermal* lebih besar dari PLTSA *Landfill*, karena PLTSA *Thermal* sangat efektif dan mampu mengurangi sampah secara cepat dan volume paling banyak setiap hari jauh melebihi PLTSA *Landfill*. Maka untuk mengatasi sampah yang menumpuk merupakan solusi yang dapat dilakukan.



Gambar 4.1 Indeks Ketahanan Energi

Dari indeks ketahanan energi diatas dapat diketahui secara rata-rata, PLTSA *Landfill* dengan skor 0.84 lebih besar dari PLTSA *Thermal* dengan skor 0.68.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Penilaian tingkat ketahanan energi listrik pada PLTSA *Landfill* dan PLTSA *Thermal* sudah dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) aspek ketahanan energi, yaitu aspek *availability*, *accessability*, *affordability*, dan *acceptability*.
2. Penilaian PLTSA *Landfill* pada aspek *accessability*, *affordability* dan *acceptability* (indikator *avoided CO₂ emission*) lebih besar dibandingkan PLTSA *Thermal*, sedangkan penilaian PLTSA *Thermal* pada aspek *availability* dan *acceptability* (indikator *pengurangan sampah*), lebih besar dibandingkan dengan PLTSA *Landfill*.
3. Berdasarkan hasil analisis Ketahanan Energi, PLTSA *Landfill* lebih baik dibandingkan PLTSA *Thermal*. Dengan kondisi 60% komposisi sampah di Jakarta adalah organik (basah) maka PLTSA *Landfill* lebih baik dan efisien untuk diterapkan saat ini.

5.2 Saran

Untuk kedepannya jika penekanan kebijakan pemerintah kota adalah pengurangan volume sampah secara cepat, teknologi yang handal dan lahan tidak terlalu luas maka dapat direkomendasikan lebih banyak pembangunan PLTSA *Thermal* dengan mempertimbangkan biaya investasi kedepannya agar dapat lebih

kompetitif. Sebaliknya jika penekanan kebijakannya ramah lingkungan, lahan luas tersedia, kemudahan akses teknologi dan kemampuan daya beli masyarakat maka dapat diterapkan PLTSA *Landfill* namun dengan mempertimbangkan solusi untuk timbunan sampah yang lambat laun mencemari tanah dan air disekitarnya. Pada penelitian selanjutnya direkomendasikan analisis ketahanan energi dengan menentukan prosentase porsi pada setiap dimensi *ESSI*: *Availability* (%), *Accessability* (%), *Affordability* (%) dan *Acceptability* (%) berdasarkan sudut pandang dengan pihak terkait pembangunan PLTSA (Pemerintah Kota, Pengembang/swasta dan masyarakat) untuk mengetahui ketahanan energi pembangkit listrik tenaga sampah (*Landfill* dan *Thermal*) yang tepat sesuai kebutuhan yang diharapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <https://www.channelnewsasia.com/news/asia/jakarta-air-quality-worst-in-the-world-again-indonesia-11772442>
- [2] <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190805093448-4-89780/hikmah-listrik-padam-udara-dki-lebih-bersih-dari-singapura>
- [3] <https://fokus.tempo.co/read/1234455/cerobong-pltu-diduga-sumbang-polusi-udara-jakarta/full&view=ok>
- [4] Rencana Usaha Penyediaan tenaga listrik (RUPTL) DKI Jakarta 2019-2028
- [5] Portal Resmi Unit pengelolaan sampah terpadu Dinas lingkungan hidup DKI Jakarta (<https://upst.dlh.jakarta.go.id/tpst/data>)
- [6] <https://tutoriallingkungan.blogspot.co.id>
- [7] Mohamed Ibrahim Mohamed Ibrahim and Nanis Abd El Monem Mohamed / Procedia Environmental Sciences 34 (2016) 336 – 347
- [8] Makalah Pembangkit Listrik Tenaga Sampah, Prodi Elektro Politeknik Negeri Jakarta 2014 (Aditya Ahmad dkk)
- [9] Widiatmini, Pilot plant PLTSA *Thermal* Bantar Gebang, Seminar Nasional teknologi pengolahan sampah kota, BPPT 23 Oktober 2019
- [10] Pemanfaatan sampah Bantar Gebang sebagai pembangkit listrik tenaga sampah dengan metode sanitary landfill, Isworo Pujotomo -Jurnal ilmiah energi dan kelistrikan, Januari-Mei 2014-Volume 6 No 1, ISSN 1979-0783-STT PLN
- [11] Pengendalian emisi gas buang dan Penanganan FABA pada waste to energi Plant -Wahyu Purwanta & Priska Alfatri, Jakarta 23 Oktober 2019 - Seminar Nasional teknologi pengolahan sampah kota, BPPT.

- [12] PP 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) pada Bab I Pasal 1 , butir 10
- [13] Modul 5 – Teknologi WtE Berbasis Proses Biologi Landfill Gas - bpsdm.pu.go.id- April 2019 hal.22- Bandung, Oktober 2018
Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan Jalan, Perumahan, Permukiman, dan Pengembangan Infrastruktur Wilayah
- [14] Biaya pokok penyediaan tenaga listrik nasional tahun 2015, berdasarkan RUEN (PP no.79 thn 2014): untuk PLTA
- [15] Biaya pokok penyediaan tenaga listrik nasional tahun 2015, berdasarkan RUEN (PP no.79 thn 2014): untuk PLTS
- [16] Santiago Alzate-Arias, Alvaro Jaramillo-Duque, Fernando Villada, Bonie Restrepo-Cuestas. 2018. “Assessment of Government Incentives for Energy from Waste in Colombia”, 23 April 2018
- [17] Paparan Ka. BPPT, Dr.Ir. Hammam Riza. MSc, IPU (- Seminar Nasional Teknologi sampah kota 23 Oktober 2019 , BPPT)
- [18] Bahan Kuliah Energy Security, Dr. Hakimul Batih , MTE UKI 2018
- [19] Prof. Dr. Sugiyono (2015): Metode Penelitian Kualitatif kuantitatif dan R&D , pp. 298-302
- [20] Research Design Jhon M Creswell 2017 Pendekatan Metode Kualitatif, kuantitatif dan campuran Bekasi 2009
- [21] Studi potensi limbah kota sebagai pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) kota singkawang -Uray Ibnu Faruq- FTE Uni. Tanjungpura Pontianak.
- [22] Mosses Morrisca Elim, Robinson Purba, Hakimul Batih MTE UKI - Lektrokom : Jurnal Ilmiah Program Studi Teknik Elektro Volume 2, 1 Oktober 2019, ISSN: 2686-1534, Analisis Ketahanan Energi terhadap rencana Penerapan PLTMH Head Rendah di Bendung Sungai Cikeas di Podomoro Golf View Cimanggis Podomoro Golf View Cimanggis
- [23] Hakimul Batih , Estimation of Generation Cost (EPB 238-Ekonomi Pembangunan Perusahaan Listrik)
- [24] Technical Presentation , Bantar Gebang Landfill Gas Management & Power Generation Project Jakarta City 10-11 June 2013
- [25] Biaya Operasi Pembangkit rata rata per kWh , Statistik PLN 2018
- [26] Perpres 35/2018 , Peraturan Presiden (PERPRES) tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan