

KELAYAKAN TEKNO-EKONOMI PLTSA INSINERASI 10 MW DI TPA TERJUN KOTA MEDAN

Daniel Afrizal Siahaan¹, Eri prabowo²

Institut Teknologi Perusahaan Listrik Negara¹⁻³

*Corresponding email: daniel2310556@itpln.ac.id¹ eriprabowo@itpln.ac.id²

Abstrak: Kota Medan menghadapi peningkatan timbunan sampah yang menekan kapasitas TPA Terjun dan menuntut alternatif pengelolaan yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan tekno-ekonomi Pembangunan PLTSA iniserasi 10 MW di TPA Terjun dengan membandingkan teknologi moving-grate, fluidized bed, dan rotary-kiln. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis data sekunder melalui analisis timbunan sampah, komposisi, potensi energi, serta indikator finansial berupa NPV, IRR, B/C Ratio, Puyback Period, dan analisis sensitivitas. Hasil menunjukkan suplai sampah Kota Medan memadai untuk operasi PLTSA. Moving-grate memberikan output Listrik tahunan tertinggi dan kinerja finansial yang layak, sedangkan rotary-kiln menghasilkan NPV tertinggi, tetapi didukung asumsi CAPEX yang kurang realistis untuk skala kota. Pendapatan merupakan variable paling sensitif. Secara keseluruhan moving-grate menjadi opsi paling sensitive. Secara keseluruhan, moving-grate menjadi opsi paling realistis untuk konteks TPA Terjun

Kata kunci: CAPEX, insinerasi, kelayakan finansial, PLTSA, TPA Terjun

***Abstract:** Medan City faces increasing waste generation that has pressured the carrying capacity of the Terjun landfill and created the need for a more sustainable treatment option. This study analyses the techno-economic feasibility of a 10 MW waste-to-energy incineration plant at the Terjun landfill by comparing moving-grate, fluidized-bed, and rotary-kiln technologies. A quantitative secondary-data approach was used to assess waste generation, waste composition, energy potential, and financial indicators including NPV, IRR, benefit-cost ratio, payback period, and sensitivity analysis. The results show that Medan has sufficient waste supply to support plant operation. Moving-grate provides the highest annual power output and feasible financial performance, while rotary-kiln records the highest NPV under less realistic city-scale CAPEX assumptions. Revenue is the most sensitive variable. Overall, moving-grate is the most realistic option for the Terjun landfill context.*

***Keywords:** CAPEX, financial feasibility, incineration, Terjun landfill, waste-to-energy*

PENDAHULUAN

Permasalahan persampahan perkotaan di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk, urbanisasi, dan perubahan pola konsumsi. Di banyak kota besar, sistem kumpul-angkut-buang masih mendominasi sehingga sampah berakhir di tempat pemrosesan akhir tanpa pemulihan nilai material atau energi yang memadai (Indartik et al., 2018; Tanjung et al., 2022). Kondisi tersebut menimbulkan beban lingkungan, biaya pengelolaan yang tinggi, dan risiko penurunan kualitas kesehatan masyarakat.

Kota Medan merupakan salah satu kota metropolitan dengan tekanan persampahan yang tinggi. Tarigan et al. (2017) mencatat timbunan sampah harian Medan berkisar pada angka 1.800-2.000 ton per hari. Dalam penelitian ini, data sekunder Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan menunjukkan bahwa aliran sampah ke TPA Terjun pada tahun 2023 mencapai 468.233,69 ton dan meningkat menjadi 511.104,22 ton pada tahun 2024. Kondisi tersebut memperkuat indikasi bahwa TPA Terjun menghadapi tekanan kapasitas dan membutuhkan solusi pengelolaan yang lebih berkelanjutan.

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dipandang sebagai alternatif yang mampu menjawab dua isu sekaligus, yaitu pengurangan volume sampah dan pemanfaatan sampah sebagai sumber energi. Kerangka kebijakan nasional melalui Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2018 juga memberikan dukungan bagi pengembangan instalasi pengolah sampah menjadi energi listrik berbasis teknologi ramah lingkungan. Dengan demikian, sampah kota yang selama ini menjadi liabilitas lingkungan dapat dikonversi menjadi sumber pendapatan melalui penjualan listrik dan *tipping fee*.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kelayakan proyek *waste-to-energy* sangat dipengaruhi oleh karakteristik sampah lokal, pilihan teknologi, struktur biaya, dan kebijakan insentif. Studi di negara Thailand dan Malaysia memperlihatkan hasil kelayakan yang berbeda untuk setiap jenis teknologi (Farooq et al., 2024; Elwan & Habibuddin, 2021). Di Indonesia, pembelajaran dari proyek Benowo dan pengalaman fasilitas insinerasi skala percontohan menegaskan pentingnya pemilihan teknologi yang sesuai dengan sampah bercampur dan berkadar air tinggi (Mudofir et al., 2025; Febijanto et al., 2024).

Di sisi lain, studi-studi kelayakan yang tersedia masih lebih banyak berfokus pada kota-kota besar di Pulau Jawa atau pada konfigurasi teknologi tertentu karena karakteristik sampah, struktur pembiayaan, dan kesiapan kelembagaan tiap daerah berbeda sehingga hasil suatu studi tidak dapat diterapkan secara langsung untuk wilayah lain. Kesenjangan tersebut mendorong perlunya analisis yang spesifik terhadap kondisi Kota Medan khususnya untuk TPA Terjun sebagai lokasi pembuangan utama sampah perkotaan.

Berdasarkan konteks tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kelayakan tekno-ekonomi pembangunan PLTSA insinerasi 10 MW di TPA Terjun Kota Medan. Tiga alternatif teknologi yang dibandingkan adalah *moving-grate*, *fluidized-bed*, dan *rotary-kiln*. Fokus analisis diarahkan pada ketersediaan bahan baku, potensi energi, indikator kelayakan investasi, dan sensitivitas proyek terhadap perubahan parameter kunci.

LANDASAN TEORI

Dalam hirarki pengelolaan sampah, *waste-to-energy* berada pada tingkat pemulihan energi setelah upaya *reduce*, *reuse*, dan *recycle*. Jalur termokimia, terutama insinerasi, lazim dipilih untuk sampah perkotaan dalam jumlah besar karena mampu mereduksi volume sampah secara signifikan serta sekaligus menghasilkan energi listrik (Alao et al., 2022). Namun, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada kecukupan pasokan sampah, nilai kalor, kadar air, dan keandalan operasi jangka panjang.

Karakteristik umum sampah perkotaan Indonesia ditandai oleh dominasi fraksi organik, kadar air yang tinggi, dan nilai kalor yang relatif rendah. Kondisi ini dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan menuntut adanya penanganan teknologi yang tepat. *Moving-grate* dikenal sebagai teknologi paling matang untuk sampah campuran, *fluidized-bed* membutuhkan sampah yang lebih homogen dan pra-pengolahan yang lebih intensif, sedangkan *rotary-kiln* lebih fleksibel tetapi umumnya lebih cocok untuk limbah khusus daripada sampah kota berskala besar (Van Caneghem et al., 2012; Tao et al., 2024).

Dari sisi ekonomi, kelayakan proyek umumnya diukur melalui NPV, IRR, *Benefit-Cost Ratio*, dan *Payback Period*. NPV menunjukkan nilai tambah bersih proyek dalam nilai sekarang; IRR menunjukkan tingkat pengembalian internal; B/C Ratio membandingkan manfaat dan biaya yang telah didiskontokan; sedangkan Payback Period menunjukkan waktu yang diperlukan untuk menutup kembali investasi awal. Kombinasi keempat indikator tersebut diperlukan agar evaluasi kelayakan tidak hanya bergantung pada satu ukuran keuangan tertentu, khususnya pada proyek padat modal seperti PLTSA.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kelayakan tekno-ekonomi (*techno-economic feasibility study*). Lokasi kajian adalah TPA Terjun, Kecamatan Medan Marelان, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Analisis dilakukan sebagai *desk-based study* yang memanfaatkan data sekunder dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan, Badan Pusat Statistik Kota Medan, literatur ilmiah, Laporan Keuangan PT PLN (Persero) 2024, dan regulasi terkait PLTSA.

Tahap pertama adalah analisis ketersediaan bahan baku melalui identifikasi timbunan sampah dan timbunan per kapita. Proyeksi sampah mengikuti model pertumbuhan geometris.

Tahap kedua adalah perhitungan potensi energi dengan mengalikan timbulan sampah tahunan, efisiensi konversi, dan nilai kalor bawah (LHV). Tahap ketiga adalah analisis finansial menggunakan arus kas masuk dan arus kas keluar untuk memperoleh indikator Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Benefit-Cost Ratio (B/C Ratio), dan Payback Period (PP).

$$W_t = W_0 \times (1 + g)^t$$

$$E_{PLTSA} = W_t \times \eta \times LHV$$

Analisis sensitivitas dilakukan dengan pendekatan one-at-a-time terhadap variabel yang paling berpotensi memengaruhi kelayakan proyek, terutama *revenue* dan *initial investment*. Tiga skenario teknologi yang diuji adalah *moving-grate*, *fluidized-bed*, dan *rotary-kiln*. Pemilihan ketiga skenario tersebut dimaksudkan untuk membandingkan teknologi yang paling matang, teknologi yang menuntut pra-pengolahan lebih tinggi, dan teknologi yang lazim digunakan untuk limbah yang lebih spesifik.

Tabel 1. Sumber data utama dan penggunaannya dalam analisis

Parameter	Sumber data	Penggunaan dalam analisis
Timbunan sampah	DLH Kota Medan	Basis perhitungan laju alir massa tahunan dan kapasitas umpan.
Jumlah penduduk	BPS Kota Medan	Perhitungan timbulan per kapita dan proyeksi pertumbuhan.
Komposisi, LHV, efisiensi	Studi literatur	Input perhitungan potensi energi dan perbandingan teknologi.
Harga jual listrik dan discount rate	Laporan Keuangan PT PLN 2024	Dasar proyeksi pendapatan dan evaluasi finansial.
<i>Tipping fee</i>	Perpres 35/2018 dan literatur terkait	Komponen tambahan pendapatan layanan pengolahan sampah.

Kondisi timbunan sampah Kota Medan

Tabel 2. Timbunan sampah dan jumlah penduduk Kota Medan 2021-2024

Tahun	Timbulan sampah (ton/tahun)	Jumlah penduduk (jiwa)	Sampah per kapita (kg/jiwa/hari)
2021	645.012,56	2.460.858	0,718
2022	628.749,22	2.494.512	0,690
2023	645.661,28	2.474.166	0,715
2024	632.149,41	2.486.283	0,696

Rata-rata timbulan per kapita yang diperoleh adalah 0,705 kg/jiwa/hari atau 257,3 kg/jiwa/tahun.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan bahan baku dan potensi teknis

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa pasokan sampah Kota Medan cukup besar dan relatif stabil. Rata-rata timbunan tahunan berada di atas 628.000 ton sehingga secara

kuantitatif memadai untuk mendukung operasi PLTSA secara berkelanjutan. Besarnya pasokan ini penting karena kelayakan teknis PLTSA bergantung pada kontinuitas umpan sampah dan kecukupan kapasitas pabrik selama umur proyek.

Hasil perhitungan teknis menunjukkan bahwa *moving-grate* menghasilkan output listrik tahunan tertinggi yaitu 2.216.798 (sesuai satuan yang digunakan dalam studi), diikuti *fluidized-bed* sebesar 1.879.913 dan *rotary-kiln* sebesar 1.127.948. Secara komparatif, hasil tersebut menempatkan *moving-grate* sebagai alternatif yang paling unggul dari aspek konversi energi. Hasil ini juga konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa *moving-grate* paling sesuai untuk sampah kota yang heterogen dan memiliki kadar air tinggi, sedangkan *fluidized-bed* cenderung lebih efektif pada umpan yang sudah dicacah dan dihomogenkan (Van Caneghem et al., 2012; Febijanto et al., 2024).

Secara operasional, *moving-grate* lebih adaptif terhadap kondisi sampah Kota Medan yang belum sepenuhnya terpilah. *Fluidized-bed* tetap menarik dari sisi efisiensi pembakaran, tetapi memerlukan pra-pengolahan seperti pencacahan, pengeringan, dan pengendalian ukuran partikel. Di sisi lain, *rotary-kiln* menawarkan fleksibilitas untuk jenis limbah tertentu, namun efisiensi konversinya untuk PLTSA kota lebih rendah. Oleh sebab itu, keunggulan teknis tidak hanya ditentukan oleh besarnya output energi, melainkan juga oleh kesesuaian teknologi dengan kondisi sistem persampahan lokal.

Perbandingan kinerja teknis dan finansial

Tabel 3. Perbandingan hasil kelayakan tiga alternatif teknologi

Teknologi	Output listrik tahunan*	NPV	B/C Ratio	IRR	PP	Interpretasi
Moving-grate	2.216.798	Rp1,634 triliun	1,16	32%	23 th 9 bln	Paling seimbang dan implementatif
Fluidized-bed	1.879.913	Rp1,012 triliun	1,13	32%	24 th 6 bln	Layak, tetapi membutuhkan pra-pengolahan
Rotary-kiln	1.127.948	Rp2,155 triliun	2,11	32%	9 th	NPV tertinggi, namun asumsi CAPEX kurang realistis untuk skala kota

Dari sisi finansial, ketiga skenario menunjukkan nilai NPV positif, B/C Ratio di atas 1, dan IRR yang melampaui discount rate 10%. Dengan demikian, seluruh skenario pada dasarnya layak secara finansial. Namun, interpretasi hasil harus dilakukan secara hati-hati. *Rotary-kiln* mencatat NPV tertinggi dan payback period tercepat, tetapi performa tersebut sangat dipengaruhi oleh asumsi CAPEX yang jauh lebih rendah dibandingkan dua teknologi lain. Dalam konteks implementasi PLTSA perkotaan, asumsi biaya investasi yang terlalu rendah dapat menyebabkan over-estimation terhadap daya tarik ekonomi proyek.

Moving-grate memberikan kombinasi yang paling realistis antara potensi teknis dan hasil finansial. Nilai NPV sebesar Rp1,634 triliun, B/C Ratio 1,16, IRR 32%, dan PP 23 tahun 9 bulan menunjukkan bahwa proyek masih layak sekaligus memiliki dasar teknis yang lebih kuat. *Fluidized-bed* juga layak, tetapi profil risikonya lebih tinggi karena adanya kebutuhan sistem pra-perlakuan tambahan yang berimplikasi pada kenaikan OPEX dan kompleksitas manajemen operasi.

Analisis sensitivitas dan implikasi kebijakan

Tabel 4. Ringkasan hasil analisis sensitivitas

Teknologi	Variabel kunci	Dampak utama terhadap kelayakan
Moving-grate	Revenue -20%	NPV turun dari Rp1,634 triliun menjadi sekitar -Rp2,9 triliun dan PP naik 51%.
Fluidized-bed	Revenue -20% / +20%	NPV turun 66% saat revenue menurun 20% dan naik 415% saat revenue meningkat 20%.
Rotary-kiln	Revenue -20%	NPV turun 57% dan PP meningkat 92%, menunjukkan penundaan return proyek yang signifikan.

Tabel 4 menunjukkan bahwa revenue merupakan variabel yang paling menentukan kelayakan proyek. Dalam kasus *moving-grate* dan *rotary-kiln*, penurunan pendapatan sebesar 20% langsung mendorong penurunan NPV yang tajam dan memperpanjang masa pengembalian investasi. Temuan ini menegaskan bahwa keberhasilan proyek PLTSA tidak semata-mata ditentukan oleh kesiapan teknologi, tetapi juga sangat bergantung pada jaminan pendapatan dari harga jual listrik, tipping fee, dan kepastian pembelian listrik oleh PLN.

Implikasi kebijakan dari hasil tersebut adalah perlunya desain kelembagaan yang kuat antara pemerintah daerah, PLN, dan calon investor. Kota Medan memerlukan kebijakan tipping fee yang realistis, kontrak penjualan listrik yang stabil, dan langkah perbaikan sistem pengelolaan sampah dari hulu agar kualitas umpan tidak terlalu berfluktuasi. Tanpa dukungan kebijakan dan reformasi tata kelola persampahan, PLTSA akan menghadapi risiko keekonomian yang tinggi meskipun secara teknis layak.

Implikasi sosial, ekonomi, dan kelembagaan

Selain aspek teknis dan finansial, pembangunan PLTSA di TPA Terjun berpotensi menghasilkan eksternalitas sosial dan ekonomi yang penting. Dari sisi positif, PLTSA dapat mengurangi volume sampah secara signifikan, mengurangi tekanan terhadap lahan TPA, menurunkan risiko pencemaran, dan menciptakan lapangan kerja baru pada kegiatan operasi serta pemeliharaan. Di tingkat daerah, proyek ini juga berpotensi menambah aktivitas ekonomi turunan dan memperkuat citra pemerintah daerah sebagai pelaksana inovasi pelayanan publik.

Namun demikian, implementasi PLTSA juga perlu mengantisipasi resistensi masyarakat terkait isu emisi insinerator, perubahan persepsi terhadap kualitas lingkungan sekitar, dan potensi gangguan terhadap mata pencaharian informal yang bergantung pada aktivitas pemulungan di sekitar TPA. Oleh karena itu, pendekatan teknologi harus dibarengi dengan strategi komunikasi publik, transparansi pengelolaan emisi, serta rancangan transisi sosial yang inklusif.

Dari perspektif kelembagaan, *moving-grate* lebih mudah diposisikan sebagai opsi utama karena tingkat kematangannya lebih tinggi dan lebih sering dijadikan rujukan kebijakan nasional. *Fluidized-bed* baru akan menjadi pilihan yang lebih menarik bila sistem pemilahan sampah di Kota Medan telah berkembang secara konsisten. Adapun *rotary-kiln* dapat dipertimbangkan hanya untuk skenario pengolahan limbah khusus yang membutuhkan fleksibilitas lebih tinggi daripada pengolahan sampah kota biasa.

Secara keseluruhan, pembahasan hasil menempatkan *moving-grate* sebagai opsi paling rasional untuk TPA Terjun. Teknologi ini lebih adaptif terhadap sampah campuran berkadar air tinggi, memiliki kinerja energi paling baik, dan menunjukkan indikator finansial yang layak tanpa mengandalkan asumsi biaya yang terlalu optimistis. *Fluidized-bed* dapat dipertimbangkan sebagai opsi jangka panjang bila sistem pemilahan dan pra-pengolahan

sampah di Medan telah berkembang, sedangkan rotary-kiln lebih tepat ditempatkan sebagai teknologi pembanding atau untuk aplikasi limbah khusus.

Tabel 5. Matriks perbandingan strategis alternatif teknologi

Aspek	Moving-grate	Fluidized-bed	Rotary-kiln
Kesesuaian teknis	Paling adaptif terhadap sampah campuran dan kadar air tinggi.	Memerlukan pra-pengolahan, pengeringan, dan kontrol ukuran partikel.	Lebih sesuai untuk limbah khusus daripada sampah kota.
Kinerja finansial	Layak dan realistis untuk implementasi kota.	Layak, tetapi lebih sensitif terhadap perubahan pendapatan.	Menarik secara angka, namun sangat bergantung pada asumsi CAPEX rendah.
Kompleksitas operasi	Menengah; paling matang secara komersial.	Tinggi karena memerlukan sistem tambahan.	Tinggi dan memerlukan keahlian operasional khusus.
Prospek implementasi di Medan	Paling direkomendasikan.	Layak sebagai opsi jangka panjang jika sistem hulu membaik.	Terbatas sebagai pembanding atau untuk aplikasi tertentu.

Untuk merangkum posisi masing-masing opsi, hasil studi dapat dituangkan dalam matriks perbandingan strategis yang mempertimbangkan aspek teknis, finansial, kompleksitas operasi, dan prospek implementasi di Kota Medan.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada dominannya penggunaan data sekunder untuk karakteristik sampah dan asumsi investasi. Oleh karena itu, studi lanjutan perlu melakukan pengukuran primer terhadap kadar air, komposisi, dan nilai kalor sampah Kota Medan serta verifikasi CAPEX dan OPEX berbasis vendor atau pra-rancangan teknik yang lebih rinci.

Kelayakan implementasi pada sistem persampahan Kota Medan

Selain perbandingan angka output listrik dan indikator investasi, hasil penelitian perlu dibaca dalam konteks sistem persampahan Kota Medan yang nyata. Sampah perkotaan Indonesia pada umumnya masih didominasi fraksi organik dengan kadar air relatif tinggi, sehingga nilai kalor bersihnya tidak selalu ideal untuk proses pembakaran langsung. Kondisi ini juga tercermin dalam konteks TPA Terjun, sehingga pilihan teknologi harus mempertimbangkan kemampuan menerima sampah heterogen dan tetap menjaga stabilitas operasi. Dalam literatur, moving-grate dikenal paling toleran terhadap karakteristik tersebut, sedangkan fluidized-bed dan rotary-kiln menuntut kondisi umpan yang lebih spesifik (Van Caneghem et al., 2012; Tao et al., 2024).

Dari sudut pandang rekayasa, keunggulan moving-grate bukan hanya karena efisiensi konversi yang lebih tinggi dalam studi ini, tetapi juga karena kebutuhan pra-perlakuannya lebih rendah. Pada kondisi persampahan yang belum optimal dalam pemilahan di sumber, kemampuan menerima sampah campuran menjadi faktor yang sangat menentukan keberhasilan operasi. Sebaliknya, fluidized-bed membutuhkan pencacahan, pengeringan, dan kontrol ukuran partikel yang lebih ketat agar pembakaran tetap stabil. Teknologi ini dapat menjadi pilihan yang menarik pada masa depan apabila sistem pemilahan dan pengolahan awal sampah Kota Medan berkembang lebih baik. Sementara itu, rotary-kiln lebih tepat dipandang sebagai teknologi yang cocok untuk limbah khusus, bukan opsi utama untuk volume sampah kota yang sangat besar.

Temuan ini sejalan dengan pembelajaran dari proyek-proyek waste-to-energy di Indonesia yang menunjukkan bahwa kecocokan teknologi terhadap karakteristik sampah lokal lebih

penting daripada sekadar mengejar angka keekonomian tertinggi. Secara teoretis, teknologi tertentu dapat terlihat sangat menarik dari sisi NPV, tetapi apabila asumsi biaya investasinya terlalu optimistis atau kebutuhan operasionalnya tidak sesuai dengan kondisi lapangan, maka tingkat implementabilitasnya menjadi rendah. Karena itu, pemilihan moving-grate dalam konteks TPA Terjun lebih dapat dibenarkan bukan hanya atas dasar hasil perhitungan, tetapi juga atas dasar kesesuaian praktis terhadap kapasitas pengelolaan sampah Kota Medan dan arah kebijakan nasional yang cenderung mengadopsi insinerasi mass-burn untuk kota besar (Perpres 35/2018; Febijanto et al., 2024).

Analisis SWOT dan eksternalitas proyek

Dilihat dari sudut pandang strategis, teknologi moving-grate memiliki kekuatan utama pada kematangan teknologi dan kemampuannya menerima sampah campuran tanpa pra-pemilahan yang terlalu kompleks. Kelebihan ini sangat relevan untuk Kota Medan yang masih menghadapi persoalan sampah bercampur dan kadar air tinggi. Selain mampu menurunkan volume sampah secara drastis, proyek PLTSA berpotensi mengurangi tekanan terhadap umur layan TPA, menekan pencemaran bau, dan membuka peluang kerja baru pada sisi operasi serta pemeliharaan. Dalam konteks daerah, proyek semacam ini juga dapat memperkuat citra pemerintah sebagai aktor yang responsif terhadap krisis persampahan dan transisi energi (Mudofir et al., 2025).

Akan tetapi, terdapat beberapa kelemahan dan ancaman yang perlu diantisipasi. Pertama, kebutuhan investasi awal yang besar menuntut disiplin perencanaan proyek dan dukungan pembiayaan yang kuat. Kedua, isu penerimaan masyarakat tetap menjadi faktor penting karena fasilitas insinerasi kerap dikaitkan dengan kekhawatiran emisi, terutama bila komunikasi publik dan sistem pemantauan emisi tidak disiapkan secara transparan. Ketiga, bila kontrak pendapatan tidak stabil atau kualitas umpan sampah berfluktuasi terlalu jauh, maka kinerja finansial dapat cepat melemah. Dengan demikian, pembangunan PLTSA harus dirancang sebagai proyek teknologi sekaligus proyek tata kelola publik.

Tabel 6. Ringkasan SWOT implementasi moving-grate di TPA Terjun

Aspek	Uraian
Strengths	Teknologi matang, adaptif terhadap sampah campuran, reduksi volume tinggi, dan paling sesuai untuk kondisi TPA Terjun saat ini.
Weaknesses	CAPEX besar, membutuhkan sistem pengendalian emisi yang ketat, serta menuntut operator dengan kapasitas teknis yang memadai.
Opportunities	Didukung urgensi krisis kapasitas TPA, regulasi nasional PLTSA, peluang pendapatan dari listrik dan tipping fee, serta dorongan modernisasi layanan persampahan.
Threats	Resistensi masyarakat, fluktuasi kualitas sampah, ketidakpastian kontrak pendapatan, dan risiko keterlambatan proyek akibat koordinasi kelembagaan yang lemah.

Hasil SWOT tersebut memperlihatkan bahwa peluang proyek terutama terletak pada dukungan regulasi nasional, urgensi pengurangan beban TPA, dan meningkatnya kebutuhan energi alternatif. Namun, peluang itu hanya dapat diwujudkan bila pemerintah daerah mampu mengurangi ancaman utama berupa resistensi sosial, ketidakpastian kebijakan pendapatan, dan lemahnya integrasi sistem persampahan dari hulu ke hilir. Oleh karena itu, strategi implementasi yang paling rasional ialah menggabungkan penguatan aspek teknis, finansial, sosial, dan politik secara simultan.

Arah implementasi bertahap

Berdasarkan hasil studi, implementasi PLTSA di TPA Terjun lebih tepat ditempuh secara bertahap daripada langsung diposisikan semata-mata sebagai proyek konstruksi pembangkit. Tahap awal yang paling mendesak adalah penguatan data primer, terutama pengukuran kadar air, komposisi fraksi sampah, dan nilai kalor bawah aktual pada berbagai musim. Langkah ini penting karena perbedaan karakteristik sampah antarwilayah dan antarperiode dapat memengaruhi desain tungku, kebutuhan udara pembakaran, kebutuhan bahan bakar pendukung, serta kapasitas sistem pengendalian emisi. Tanpa data primer yang cukup, risiko deviasi antara rancangan teknis dan kondisi lapangan akan meningkat.

Tahap berikutnya adalah penyiapan kelembagaan dan model bisnis. Pemerintah Kota Medan perlu memastikan skema tipping fee yang fiskal-mungkin namun tetap menarik bagi investor, sementara PLN perlu memberikan kepastian terkait skema pembelian listrik, titik interkoneksi, dan standar keandalan pasokan. Pada fase ini, studi kelayakan lanjutan sebaiknya dilengkapi dengan prakiraan CAPEX dan OPEX berbasis penawaran vendor, simulasi sensitivitas yang lebih rinci, serta pengujian beberapa skenario struktur pembiayaan. Dengan demikian, keputusan investasi tidak lagi bergantung pada asumsi generik, tetapi pada parameter proyek yang lebih terverifikasi.

Pada tahap implementasi, moving-grate dapat diposisikan sebagai opsi utama, sedangkan peningkatan pemilahan di sumber dan pengurangan kadar air sampah harus tetap dilakukan sebagai agenda paralel. Pendekatan ini penting karena walaupun moving-grate lebih toleran terhadap sampah campuran, peningkatan kualitas umpan tetap akan memperbaiki stabilitas operasi, menurunkan kebutuhan energi bantu, dan memperbesar peluang efisiensi pembangkitan. Dengan kata lain, pembangunan PLTSA tidak boleh menggantikan agenda reformasi pengelolaan sampah dari hulu, melainkan harus berjalan bersamaan dengan penguatan pemilahan, pengangkutan, dan pengurangan sampah di tingkat kota.

Kombinasi temuan teknis, finansial, dan kelembagaan tersebut menunjukkan bahwa keputusan investasi PLTSA di Kota Medan tidak dapat dipisahkan dari kesiapan sistem persampahan secara keseluruhan. Artinya, keberhasilan proyek tidak hanya ditentukan oleh pemilihan insinerator, tetapi juga oleh kualitas kontrak jual beli listrik, desain tipping fee, jaminan pasokan sampah, penerimaan publik, dan kesiapan kelembagaan operator daerah maupun mitra swasta.

SIMPULAN

Berdasarkan analisis tekno-ekonomi, pembangunan PLTSA 10 MW di TPA Terjun Kota Medan layak untuk dipertimbangkan. Ketersediaan pasokan sampah Kota Medan cukup untuk menopang operasi fasilitas, dan seluruh alternatif teknologi menunjukkan indikator finansial yang memenuhi kriteria dasar kelayakan. Namun, evaluasi komparatif memperlihatkan bahwa moving-grate merupakan opsi paling realistis karena menghasilkan output listrik tahunan tertinggi, adaptif terhadap sampah kota yang heterogen, dan memiliki performa finansial yang layak dengan tingkat risiko yang lebih terkendali dibandingkan alternatif lain.

Analisis sensitivitas menegaskan bahwa pendapatan dan investasi awal merupakan variabel kunci yang harus dikelola secara hati-hati. Oleh karena itu, tindak lanjut yang direkomendasikan adalah penguatan data karakteristik sampah primer, penajaman asumsi biaya investasi, serta penyiapan dukungan kebijakan daerah dan kontrak penjualan listrik yang stabil untuk mengurangi risiko finansial proyek.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Dr. Ir. Eri Prabowo, M. Kom selaku pembimbing; PT PLN (Persero) Pusmanpro UPMK IV Medan; serta rekan-rekan UPMK IV Medan dan PST Riau II yang telah mendukung pengumpulan data dan proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alao, M. A., Popoola, O. M., & Ayodele, T. R. (2022). Waste-to-energy nexus: An overview of technologies and implementation for sustainable development. *Cleaner Energy Systems*, 3, 100034.
- Badan Pusat Statistik Kota Medan. (2025). Kota Medan dalam angka 2025. BPS Kota Medan.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Medan. (2024). Rekapitulasi volume sampah yang masuk ke TPA Terjun tahun 2023-2024 [Data sekunder tidak dipublikasikan].
- Elwan, A., & Habibuddin, M. (2021). Techno-economic analysis of a grid-connected waste to energy gasification plant: A case study. *Energy Engineering*, 118(6), 1681-1702.
- Farooq, A., Haputta, P., & Gheewala, S. H. (2024). Economic feasibility assessment of waste to energy technologies for the development of a sustainable municipal solid waste management system in Thailand. *Renewable Energy*, 233, 121155.
- Febijanto, I., Haryo, T. I., Mutaqin, M., Prakasa, D. B., & Raditya, R. (2024). Municipal solid waste reduction through incineration for electricity purposes and its environmental performance: A case study in Bantargebang, West Java, Indonesia.
- Indartik, I., Suryandari, E. Y., Djaenudin, D., & Pribadi, M. A. (2018). Household waste management in Bandung City: Added value and economic potential. *Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan*, 15(3), 195-211. <https://doi.org/10.20886/jpsek.2018.15.3.195-211>
- Maksimuk, Y., Antonava, Z., Krouk, V., Korsakova, A., & Kursevich, V. (2021). Prediction of higher heating value (HHV) based on the structural composition for biomass. *Fuel*, 299, 120860.
- Mudofir, M., Astuti, S. P., Purnasari, N., Sabariyanto, S., Yenneti, K., & Ogan, D. D. (2025). Waste harvesting: Lessons learned from the development of waste-to-energy power plants in Indonesia. *International Journal of Energy Sector Management*.
- Novendra, R. (2021). Analisis teknis dan ekonomi pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSA) (Studi kasus: TPA Muara Fajar Pekanbaru) [Skripsi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau].
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan.
- PT PLN (Persero). (2024). Laporan keuangan PT PLN (Persero) tahun 2024.
- Tanjung, A. S., Mute, A. S., & Putri, H. T. (2022). Pengelolaan sampah berbasis masyarakat di Kelurahan Bumi Waras. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 22(2), 986-992. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v22i2.2171>
- Tarigan, A. K. M., Samsura, D. A. A., Sagala, S., & Pencawan, A. V. M. (2017). Medan City: Development and governance under the decentralisation era. *Cities*, 71, 135-146. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2017.07.002>
- Tao, Y., Feng, Q., & Chen, Y. (2024). Improving long-term operation performance of hazardous waste rotary kiln incineration facilities: An evaluation with DEA model. *Waste Management*, 174, 575-584.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah.
- Van Caneghem, J., Brems, A., Lievens, P., Block, C., Billen, P., Vermeulen, I., Dewil, R., Baeyens, J., & Vandecasteele, C. (2012). Fluidized bed waste incinerators: Design, operational and environmental issues. *Progress in Energy and Combustion Science*, 38(4), 551-582.