

Rancangan Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Sampah: Studi Kasus di Kota Medan Sumatera Utara

J.P. Simanjuntak^{1,*}, Richard A.M. Napitupulu², Partahi Lumbangaol³

¹⁾ Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan 20221

²⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen, Medan 20234

³⁾ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen, Medan 20234

*janterps@unimed.ac.id

Abstract

In planning a power generation system using waste as an energy source, it is necessary to conduct an initial analysis of the potential local waste available. Not all waste can be used as the source of thermal energy by burning in an incinerator. Therefore, the selection is required to obtain the suitable waste and characterization to determine the potential thermal energy content in the waste. This article aims to obtain the electrical capacity produced from local waste to generate electricity in some regions of the city of Medan. The analysis is carried out on the availability of the waste and its potential for thermal energy generated. The selected incinerator of the fixed bed type with a two-stage air supply was explained comprehensively. Minimum pollution, high thermal conversion, and ease of operation are the critical point considered for the selected incinerator. The results revealed that 50 kWe was generated from a power plant system using waste. This amount of electricity can provide electricity for 25 households in the area where the case is located. This study is expected to provide sustainable waste management to the city of Medan in converting the waste into the household electricity supply.

Keywords: *Incinerator, combustion, gasification, pyrolysis, thermal energy, waste*

1. Latar Belakang

Permasalahan sampah pada umumnya diseluruh kota di Indonesia adalah sama dan tidak ada habisnya bila solusi yang tepat tidak segera ditemukan dan dilakukan. Tidak terkecuali kota Medan yang menghasilkan sampah sebanyak hampir 2000 ton tiap harinya [1]. Jumlah ini akan tetap bertambah seiring dengan pertambahan penduduk kota dan peningkatan kebutuhan hidup. Salah satu penyebab terjadinya timbunan sampah yang tidak pada tempatnya adalah ketiadaan tempat pembuangan sampah sementara sebelum dikumpulkan oleh dinas terkait kota Medan. Lebih parahnya lagi bahwa masyarakat masih saja membuang sampahnya ke daerah aliran sungai dan bahkan membuangnya ke aliran sungai sehingga potensi banjir akan semakin besar bila musim penghujan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Lokasi yang menjadi penumpukan sampah

Bila sampah ini tidak diolah dan dikelola dengan segera, maka akan terjadi timbunan sampah dan sampah akan menggantung serta akan menimbulkan bau yang mengganggu

kenyamanan masyarakat sekitar. Namun bila sampah ini dikelola dengan baik akan berdampak pada terjaganya kebersihan kota, bebas polusi bau sampah, mencegah terjadinya banjir dipemukiman warga, dan dapat menjadi sumber pemasukan daerah setempat. Saat ini, kota Medan sudah mampu mengolah sampah sebanyak 30 ton setiap harinya menjadi pupuk yang dapat digunakan untuk memperkuat sektor pertanian disekitar lokasi pembuatan kompos [2]. Baru-baru ini pemerintah kota Medan telah melakukan sosialisasi peraturan daerah terkait penanganan permasalahan sampah di kota Medan, dimana pemerintah akan mengadakan tempat pembuangan sampah tiap lingkungan dan akan menarik retribusi yang sesuai yang akan menambah pendapatan asli daerah kota Medan. Namun permasalahan bukanlah sebatas pengumpulan dan penimbunan sampah di tempat pembuangan akhir (TPA).

Tujuan dari artikel ini adalah untuk mendapatkan melakukan analisis terkait kapasitas listrik yang dapat diperoleh dari sampah lokal untuk menyediakan listrik di daerah tertentu di kota Medan. Analisis dilakukan terhadap ketersediaan sampah dan potensi energy termal yang dapat dibangkitkan. Sistem pembakaran yang dipilih adalah insinerator dari tipe *fixed bed* tipe garte dengan suplai udara dua tingkat. Model insinerator dua tingkat udara pembakaran sangat menjanjikan sebab dapat menghasilkan suhu gas pembakaran yang tinggi dan rendah polusi. Sesuai hasil analisis bahwa 50 kW_e dapat diproduksi dari sistem pembangkit tenaga listrik menggunakan sampah sebagai bahan bakar. Daya listrik sebesar ini mampu untuk menyediakan energi listrik untuk 25 rumah tangga di daerah lokasi kasus yang ditinjau.

2. Sistem Pengelolaan Sampah

Secara umum di Indonesia, sampah dikelompokkan dalam dua kelompok besar, yaitu sampah organik dan anorganik. Sampah organik dapat dijadikan kompos dengan produksi 40 ton/hari, sedangkan sampah anorganik seperti plastik, dll akan diproses lebih lanjut. Pengelolaan sampah anorganik dengan terlebih dahulu melakukan pemilahan (sortasi) serta treatment yang lain. Sebagian sampah anorganik yang dapat di reuse/digunakan kembali/dijual kembali, atau direcycle menjadi barang lain yang berguna, misalnya material plastic dapat diproses kembali menjadi biji plastik sehingga mengurangi produksi biji plastic yang orsinal. Sedangkan sampah yang tidak bisa diolah lagi dikumpulkan di TPA untuk dijadikan bahan bakar pembangkit listrik. Metode ini akan mengurangi volume sampah yang dikirim ke TPA hingga 10%. Data menunjukkan bahwa kesanggupan pengelolaan sampah masih sekitar 40%. Kemampuan ini masih jauh dibawah keperluan karena masih tetap menyisakan gunung sampah. Karena itu, pengelolaan sampah secara mandiri sangat perlu didorong dan digalakkan. Pemerintah perlu memberikan pendidikan dan pengelolaan sampah secara mandiri bagi penduduk kota. Dikota Medan perlu didirikan industri-industri daur ulang. Berbeda dengan Jepang dan Jerman yang sudah mampu mengolah limbah sampah hingga 65%. Sementara itu, Swedia menjadi negara yang paling berhasil mengelola limbah sampah hingga 95% dengan konsep *Waste to Energy* (WtE).

Semua jenis barang bekas dari rumah tangga, perindustrian, perkantoran, rumah sakit, restoran, supermarket, dan lain-lain secara umum disebut dengan sampah. Selain itu barang bekas yang berasal dari luar negara juga akan menambah volume sampah regional khususnya sampah jenis plastik. Berbagai jenis bahan dan material termasuk bahan organik dan anorganik boleh jadi sebagai komponen sampah. Dalam menangani dan mengolah sampah, beberapa cara dapat dilakukan seperti; (1) pengurangan sumber sampah (*source reduction*) dan bila memungkinkan melakukan eliminasi terhadap

sumber sampah, (2) penggunaan kembali (*Reuse*), (3) melakukan daur ulang (*Recycling*), (4) melakukan pemusnahan dengan cara termokimia (*thermochemical*), seperti gasifikasi, pirolisis, dan *incineration*, (5) melakukan *material recovery* dan *composting*, dan (6) membuat *landfill*, dan (7) melakukan pembuangan sebagai (*Open dumping*) [3][4][5]

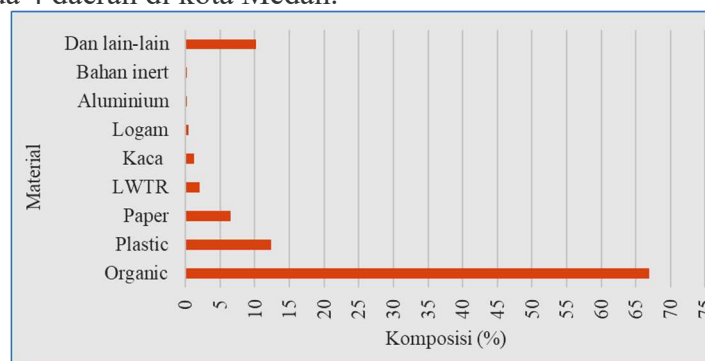
Penanganan sampah dengan metode termokimia yang paling mudah adalah dengan cara membakar secara langsung menggunakan insinerator. Cara ini menjadi yang paling banyak digunakan karena dapat diintegrasikan dengan sistem pembangkit tenaga listrik yang dikenal dengan *waste to energy* (WtE). Selain mendapatkan energi listrik, keunggulan metode WtE adalah menjadi cara yang cocok untuk membuang zat-zat berbahaya, dapat mengurangi volume sampah, menghasilkan material berguna dari sisa pembakaran, dan setelah itu sisa yang lain dapat digunakan sebagai *landfilling*. Dalam artikel ini dibicarakan terkait dengan penanganan sampah secara termokimia. Langkah yang paling penting untuk proses WtE adalah penyortiran sebab tidak semua sampah harus dimusnahkan dengan cara membakar.

Sampah anorganik, umumnya sampah plastik dapat didaur ulang, namun tidak tertutup kemungkinan untuk dibakar. Usaha daur ulang sampah plastik sudah dilakukan oleh pegiat-pegiat daur ulang sampah plastik yang bergabung dalam asosiasi Indonesia Plastic Recycle (IPR). Asosiasi ini menegaskan bahwa dengan pengelolaan sampah secara modern dan terpadu dapat mengurangi volume sampah yang masuk dari luar negara. Asosiasi lain yang bergerak dalam daur ulang sampah juga menyarankan agar pemerintah pusat dan daerah bersinergi dalam hal pengelolaan sampah. Dengan melakukan pengelolaan sampah yang baik, sampah plastik yang jumlahnya sekitar 16 persen dari total sampah dapat diolah kembali dan dimanfaatkan sebagai energi listrik, pupuk, dan bahan baku scrap industri *recycling plastic*.

3. Komposisi Sampah dan Potensi Listrik Yang Dapat Dihasilkan

3.1 Komposisi sampah

Karakteristik sampah yang berpotensi untuk menghasilkan energi listrik, sampah yang dapat dibakar adalah yang memiliki *moisture 20-25% by weight*, dan memiliki nilai kalor >2000 kkal/kg [6]. Komposisi sampah kota Medan, khususnya data dari 4 lokasi yang telah diteliti, sumber sampah dikelompokkan berdasarkan pendapatan atau income dengan kategori, *low income*, *middle income*, dan *high income* [7]. Dalam artikel ini data yang digunakan adalah data rata-rata. Gambar 2 berikut menunjukkan komposisi fisik rata-rata sampah pada 4 daerah di kota Medan.



Gambar 2. Komposisi fisik rata-rata sampah dari 4 lokasi [8][9]

Hal yang paling penting dilakukan dalam pengolahan sampah menjadi energi listrik adalah melakukan karakterisasi material sampah yang layak untuk di bakar menghasilkan

energi termal dengan polusi yang rendah. Sampah yang diperoleh dari 4 lokasi di kota Medan menunjukkan bahwa komposisi yang paling banyak adalah sampah organik. Dari komposisi sampah yang sudah diperoleh masih harus dilakukan analisis apakah jenis sampah tertentu harus dilakukan proses yang sesuai. Hingga saat ini, pemerintah kota Medan melakukan penanganan sampah berbasis masyarakat dengan menerapkan 3R, yaitu; *Reduce*, *Reuse*, dan *Recycle*. Namun belum terintegrasinya sistem pemilahan sampah mulai dari tingkat rumah tangga, pengangkutan dan pengolahan di TPA menimbulkan masalah yang sangat serius dan mengakibatkan pengolahan yang sangat tidak efektif. Dapat dikatakan bahwa pengelolaan sampah di kota Medan masih hanya sebatas mengangkut dan mengumpulkan.

Hingga saat ini, pasokan energi primer di Indonesia terutama didasarkan pada bahan bakar fosil seperti minyak, gas, dan batubara. Kebanyakan bahan bakar ini digunakan untuk membangkitkan energi listrik yang penggunaannya sangat dominan, dan diperkirakan akan meningkat didorong oleh pembangunan ekonomi dan populasi yang tumbuh cepat. Untuk dapat memenuhi pertumbuhan energi listrik dimasa depan, pemerintah Indonesia telah menetapkan target untuk pembangkit listrik hingga 135,5 GW pada tahun 2025, dan dituangkan dalam Peraturan Presiden (PerPres) No.22 / 2017. Untuk menyeimbangkan penggunaan sumber bahan bakar utama, maka pemerintah menetapkan kebijakan energi nasional untuk pembangkit listrik pada tahun 2025 dengan proporsi sebagai berikut; minyak (25%), gas (22%), batubara (30%), dan energi baru-terbarukan (23%).

Dapat dilihat bahwa sektor pembangkit listrik saat ini paling banyak ditopang oleh batubara. Walaupun Indonesia adalah salah satu negara penghasil batubara di dunia, namun penggunaan batubara sebagai bahan bakar pembangkit listrik harus segera dikurangi karena terkait dengan masalah emisi yang cukup tinggi. Tambahan bahwa kemungkinan cadangan batu bara Indonesia akan segera habis bila tidak dilakukan penambahan eksplorasi dan yang paling penting adalah substitusi. Diperkirakan 20 tahun kedepan cadangan batu bara Indonesia akan habis [10].

Dilihat dari keterbatasan sumber daya batu bara, maka pencarian bahan bakar untuk pembangkit listrik, termasuk pemanfaatan potensi pembakaran sampah menjadi sangat penting. Pembakaran sampah berbasis energi akan sangat berkontribusi dalam hal manajemen dan pengelolaan sampah secara lokal maupun nasional. Memanglah nilai kalor sampah tidak sama dengan bahan bakar berbasis fosil, katakan saja batu bara memiliki potensi nilai kalor sebesar (7800-8000 kkal/kg). Sedangkan sampah hanya mengandung rata-rata 2000 kkal/kg dan 4000 kkal/kg untuk masing-masing sampah organik dan anorganik. Namun, permasalahan utama pembakaran sampah adalah kandungan air yang tinggi. Diperlukan alat pengering yang handal dan tentunya memerlukan energi. Pengepresan pada truk pengangkut menjadi solusi yang pertama yang dapat membantu mengurangi kadar air dalam sampah setelah tiba di unit penampungan (*storage* unit), selain itu beberapa metode dapat diadopsi dari teknologi-teknologi yang berkembang saat ini.

Teknologi pemanfaatan sampah menjadi energi listrik yang ramah lingkungan sudah banyak dilakukan di negara maju di Eropa seperti Norwegia, Swedia, Jerman, Swiss, Inggris. Sedangkan di Asia termasuk Jepang, Korea Selatan, Singapore, dan Taiwan. Teknologi yang digunakan seperti *incineration*, *pyrolysis*, gasifikasi, *landfill*, dan lainnya. Teknologi yang paling banyak digunakan adalah insineration, yaitu dengan pembakaran secara langsung menggunakan udara sebagai oksidator. Insinerasi sangat efektif dalam mengurangi massa dan volume sampah hingga 90%. Tujuan utama

pembakaran adalah menghasilkan *heat* yang terdapat pada aliran gas buang (*flue gass*). Namun, tantangan utama dari proses insinerasi adalah produk residu padatan berupa *fly ash and bottom ash* (FABA). Namun demikian, residue ini dapat diolah menjadi material bernilai pasar seperti bahan baku pembuatan material konstruksi (*construction material*). Sedangkan emisi gas seperti CO₂ dapat ditangkap menggunakan alat khusus dan digunakan dalam industri makanan, manufaktur, dan lain-lain.

Salah satu sumber dari media social merilis 12 daftar PLTSa yang akan beroperasi pada tahun 2022. Total kapasitas daya listrik yang akan dihasilkan mencapai 234 Megawatt (MW) dengan memanfaatkan sekitar 16 ribu ton sampah per hari [11]. Sayangnya dalam daftar tersebut tidak terdapat kota Medan dalam pengembangan PLTSa tersebut. Kota Medan memang belum memiliki sistem pembangkit listrik berbasis sampah walaupun seruan untuk mengembangkan sistem PLTSa ini sudah ada beberapa tahun sebelumnya. Di Indonesia, teknologi insinerasi sampah juga sudah mulai dikembangkan dalam rangka menyahuti rencana pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Presiden (Perpres) Nomor 35 Tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolah Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan. Salah satu contohnya adalah pembangkit listrik tenaga sampah (PLTSa) Benowo di Surabaya dengan kapasitas 9 MW dengan kebutuhan sampah 1000 ton/hari dengan menggunakan teknologi gasifikasi dan landfill. Selain itu ada juga PLTSa Merah Putih di Bantargebang, DKI Jakarta dengan kapasitas listrik sebesar 110,59 kWh/ton of waste. PLTSa ini menghabiskan 100 ton sampah/hari dengan FABA sebanyak 1,918 ton. Sumber informasi juga mengatakan bahwa dari 100 Ton sampah kering dapat dihasilkan energy listrik sebesar 12 MW, sedangkan dengan teknologi *landfill* hanya menghasilkan 0.5 – 1 MW [12]. Teknologi *landfill* tidak terlalu dikembangkan karena kelemahan pada produksi methane yang tidak stabil dan memerlukan area yang cukup luas.

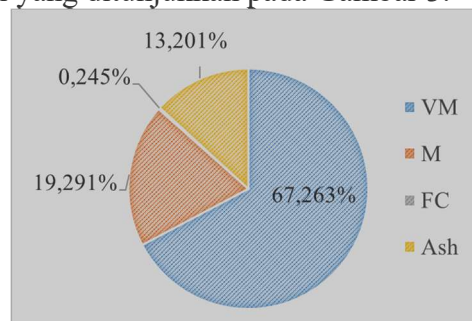
3.2 Potensi energi listrik

Untuk menggunakan sampah sebagai feedstock, maka harus diketahui karakteristik kimia sampah sehingga kandungan energi termalnya dapat diketahui. Tabel 1 berikut dapat dijadikan rujukan untuk mempertimbangkan metode yang digunakan dalam mengolah sampah. Dari table dapat diketahui kandungan energy termal yang dapat diperoleh dari pembakaran tiap ton berbagai jenis material sampah. Material polimer seperti PET, HDPE, dan PP sangat potensial untuk menghasilkan energi termal. Sisa makanan dan sampah pekarangan juga berpotensi untuk dibakar dibandingkan dengan metode *composting* dan *landfilling*.

Tabel 1. Energi termal dari pembakaran berbagai material sampah [13]

Material	E_{WTE} WTE energy (GJ/ton)
Newspaper	5.5
Kraft paper	5.5
Waxed old corruga containers	5.5
High grade paper	5.5
Mixed low grade p	5.5
Polycoated paper	5.5
Soiled paper	1.8
Other paper	5.2
Glass	
PET	8.9
HDPE	16.4
PP	12.6
Aluminum	170.1
Steel	14.8
Yard waste	1.8
Food waste	1.8

Energi termal yang terbawa pada aliran gas buang hasil pembakaran digunakan untuk mengubah wujud air menjadi uap air yang memiliki suhu dan tekanan yang tinggi yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang dapat dikopel langsung dengan generator listrik. Dari data ketersediaan sampah tiap hari, komposisi dan karakteristik sampah pada 4 lokasi di kota Medan, maka estimasi potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan dapat ditentukan. Berikut adalah informasi kimia sampah dari 4 lokasi berbeda yang dibuat kedalam dua kelompok besar yaitu: material organik dan anorganik dengan nilai rata-rata seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Komposisi kimia sampah rata-rata dari 4 lokasi di kota Medan [8][9]

Perlu dilakukan perhitungan awal untuk mengetahui potensi energi termal yang dapat dibangkitkan dari bahan bakar sampah yang tersedia setiap harinya. Potensi energi termal dari sampah secara umum dapat diestimasi dengan menggunakan rumus berikut:

$$E_{th} = HV * Q_w \quad (1)$$

Dimana HV (kcal/kg) adalah nilai pembakaran sampah. Estimasi nilai pembakaran rata-rata sampah dari 4 lokasi yang sudah diteliti adalah sebesar 3600,503 kcal/kg [8][9]. Sedangkan Q_w (kg/hari) adalah sampah tersedia tiap harinya. Potensi energi listrik yang diperoleh bila *efisiensi heat recovery, turbine*, dan generator diketahui dapat dihitung dengan rumus:

$$E_e = E_{th} * \eta_{HE} * \eta_T * \eta_G \quad (2)$$

Besarnya daya listrik yang diperoleh untuk pengoperasian sistem pembangkit selama waktu tertentu dapat ditentukan dengan persamaan berikut

$$P_e = \frac{4,2 * E_e}{t} \quad (3)$$

Dimana P_e adalah daya listrik terbangkitkan (kW_e), t (jam) adalah durasi operasional turbin. Koefisien 4,2 adalah angka konversi energi termal. (1 kcal=4,2 kJ). Tabel 2 berikut menunjukkan kesetaraan energi termal yang dapat diperoleh dari pembakaran satu ton sampah

Tabel 2. Kesetaraan energi dari 1 ton sampah [14]

1 t of MSW is equivalent to	2.5 t of steam (400 °C, 40 bar)
1 t of MSW is equivalent to	30 t of hot wat (at 180-130 °C)
1 t of MSW is equivalent to	200 kg of oil
1 t of MSW is equivalent to	500 kWh electricity

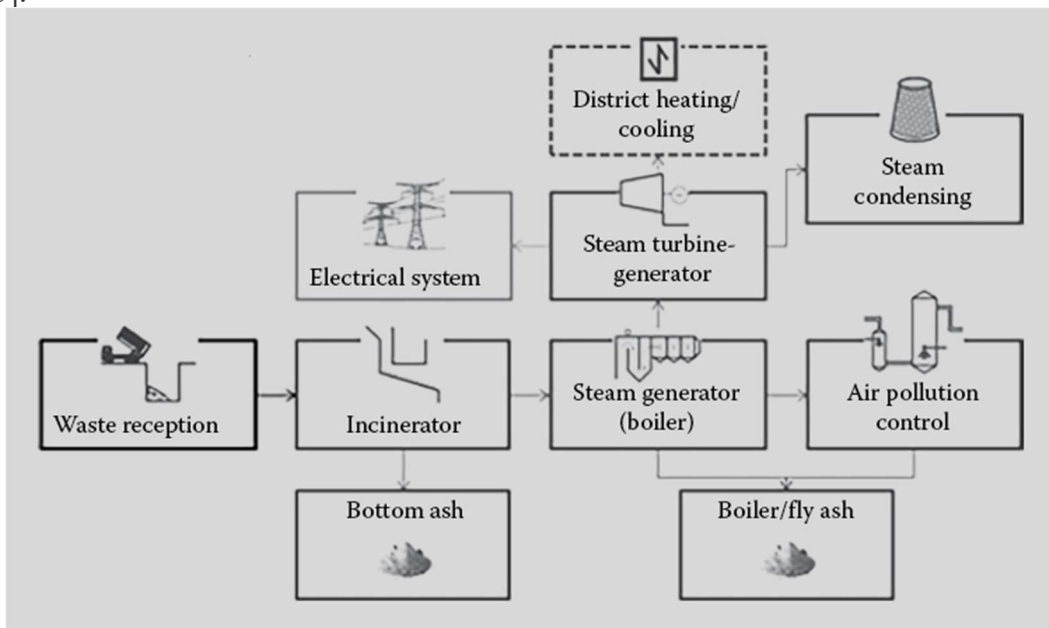
Tabel 3 berikut adalah spesifikasi teknik satu unit PLTSa skala kecil yang direncanakan. Secara umum bahwa untuk membangkitkan daya listrik sebesar 50 kW_e yang beroperasi selama 12 jam, dibutuhkan ketersediaan sampah kering sebanyak 292,07 kg.

Tabel 3. Keperluan dalam membangun unit instalasi PLT_{Sa}

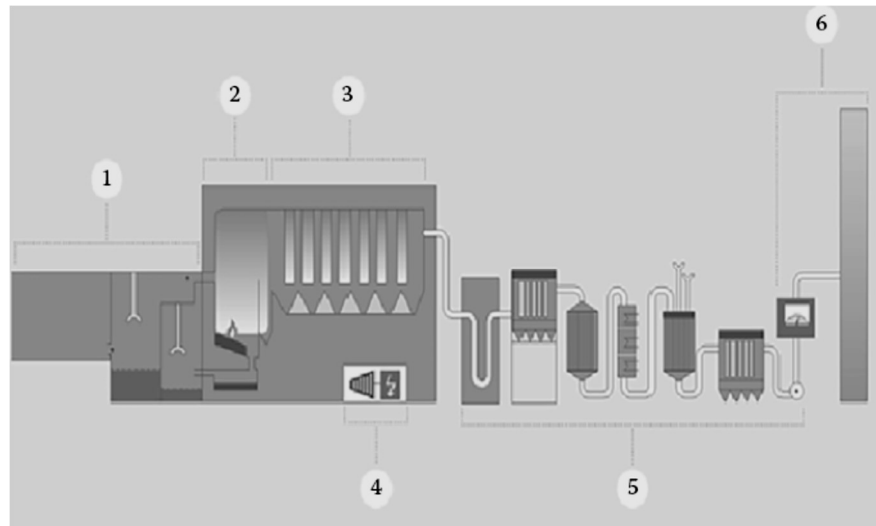
No	Spesification	Value	Unit
1	Daya listrik	50	kW _e
2	Efisiensi turbin, η_T	0,45	%
3	Efisiensi heat recovery, η_{HE}	0,80	%
4	Efisiensi generator, η_G	0,85	%
5	Durasi operasional	12	hour
6	Kebutuhan sampah	292,07	kg

4. Fasilitas Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Dalam sebuah instalasi pembangkit listrik tenaga sampah dibutuhkan beberapa unit komponen yang penting dan bekerja dengan kompak serta terintegrasi. Gambar 4 menunjukkan sebuah diagram alir proses pengolahan sampah berbasis energi menurut [15].

**Gambar 4.** Diagram alir proses pengolahan sampah berbasis energi

Gambar 5 berikut adalah sebuah *layout* sistem pengolahan sampah berbasis energi yang terdiri dari enam unit utama, yaitu; (1) unit penerimaan dan pengolahan sampah sebelum dimasukkan ke incinerator, (2) unit pembakaran dan pengolahan *bottom ash*, (3) unit *heat recovery*, (4) unit pembangkit daya listrik, (5) unit pembersihan gas buang dan *fly ash*, dan (6) system control emisi dan pelepasan gas melalui cerobong. Energi termal ini kemudian *direcovery* menggunakan boiler yang ditempatkan setelah ruang pembakaran utama. Hal ini dilakukan untuk menghindari pipa-pipa air bersentuhan langsung dengan nyala api bersuhu tinggi. Gas bersuhu tinggi digunakan untuk mengubah wujud fluida kerja (*water*) menjadi steam bertekanan tinggi, kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap yang dapat dikopel langsung dengan generator pembangkit listrik.



Gambar 5. Layout sistem pengolahan sampah berbasis energi [15]

5. Kesimpulan

Analisis komposisi fisik sampah kota yang dihasilkan di empat kota di Kota Medan memperlihatkan bahwa sampah tersebut sebagian besar terdiri dari bahan organik dan bahan anorganik yang dapat dibakar. Limbah tersebut juga memiliki kandungan energi kotor sebesar 3600.503 kkal/kg. Nilai pembakaran sampah ini dapat digunakan untuk bahan bakar system pembangkit tenaga listrik tenaga sampah (PLTSa). Tergantung jumlah sampah yang tersedia setiap harinya, PLTSa ini dapat dibuat dalam skala mikro dan sedang. Untuk mewujudkan peluang pengolahan sampah menjadi energy listrik, beberapa hal penting yang harus dilakukan pemerintah setempat adalah:

1. Memberikan pendidikan dan pelatihan pengelolaan sampah secara mandiri. Kegiatan ini akan memberikan perubahan pola pikir masyarakat terkait ancaman dan bahaya bila sampah tidak dikelola. Pendidikan dan pelatihan yang baik akan mendorong masyarakat untuk lebih giat dalam mengelola dan mengolah sampah pribadi karena akan memberikan tambahan pendapatan keluarga [16][17][18].
2. Menyediakan bank sampah di tiap lingkungan. Pentingnya kontribusi masyarakat dalam usaha pengelolaan sampah harus ditingkatkan dengan penyediaan bank sampah [19][20][21].
3. Pengadaan truk pengangkut sampah yang mencukupi serta mampu melakukan kompresi untuk mengurangi kadar air sebelum dikumpulkan ke dalam storage [22][23][24].
4. Mengatur dan mematuhi waktu pengangkutan sampah. Mematuhi waktu pengangkutan sampah dan mengantarkannya ke TPA merupakan hal yang sangat urgen karena akan mencegah terjadinya timbulan sampah [25][26].
5. Melakukan pemilahan dan pemilihan sampah menurut karakteristiknya. Salah satu keberhasilan pengelolaan sampah adalah kepatuhan pada pemilahan dan pemilihan sampah. Hal ini akan memberikan kesempatan kepada masyarakat untuk melakukan 3 R terhadap sampah yang berpotensi mendapatkan keuntungan secara finansial [27][28].
6. Memberikan insentif terhadap pemilihan sampah. Pemerintah dengan erat harus merangkul masyarakat dan menjadikan mitra dalam pengelolaan sampah. Hal ini dapat dilakukan dengan pemberian insentif kepada masyarakat yang menjadi mitra kerja pemerintah dalam menangani pengelolaan sampah [25][29][30].

7. Membuat regulasi yang berpihak pada masyarakat. Untuk menjamin kelangsungan pengelolaan sampah, maka pemerintah dengan tegas membuat aturan dan peraturan terkait dengan pengumpulan, pemilahan, dan terutama terhadap pelanggar aturan pengelolaan sampah. Regulasi yang resmi akan menjamin pengelolaan sampah bersama masyarakat dengan baik [30][31][32].

6. Daftar Pustaka

- [1] Mei Leandha, "Sampah Menggunung di 1.000 Titik Kota Medan, Ini Langkah Bobby Nasution," *Harian Kompas.com*, Medan, 2021.
- [2] F. Rahmawati, "30 Ton Sampah Pasar di Medan Jadi Pupuk dalam 1 Jam, Dijual untuk Pertanian," *Merdeka.com*, Medan, 2021.
- [3] M. X. Paes, G. A. de Medeiros, S. D. Mancini, A. P. Bortoleto, J. A. Puppim de Oliveira, and L. A. Kulay, "Municipal solid waste management: Integrated analysis of environmental and economic indicators based on life cycle assessment," *J. Clean. Prod.*, vol. 254, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119848.
- [4] S. Das, S. H. Lee, P. Kumar, K. H. Kim, S. S. Lee, and S. S. Bhattacharya, "Solid waste management: Scope and the challenge of sustainability," *J. Clean. Prod.*, vol. 228, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.04.323.
- [5] C. Hu, X. Liu, and J. Lu, "Robust trading strategies for a waste-to-energy combined heat and power plant in a day-ahead electricity market," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 1108–1113, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.344>.
- [6] F. S. Rogof, Mark J., "WTE Technology and Project Implementation," in *WTE Technology and Project Implementation*, 2nd ed., 2011, pp. 21–43.
- [7] Lubis, "No Title," 2018, [Online]. Available: <https://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/9222>.
- [8] R. A. Dalimunthe, "Studi Karakteristik Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Medan Area dan Kecamatan Medan Polonia di Kota Medan (Timbulan, Karakteristik, dan Nilai Kalor)," Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [9] C. N. Putri, "Studi Karakteristik Sampah Rumah Tangga di Kecamatan Medan Helvetia dan Kecamatan Medan Selayang di Kota Medan (Timbulan, Komposisi, Karakteristik dan Nilai Kalor)," 2018.
- [10] Y. Petriella, "Cadangan Batu Bara Diprediksi Habis 20 Tahun Lagi, Ini Alasannya!," *Bisnis.com*, Jakarta, 2020.
- [11] Anastasia Arvirianty, "Daftar 12 Daerah Pembangun Pembangkit Listrik Tenaga Sampah," *CNBC Indonesia*, Jakarta, 2019.
- [12] I. Artharini, "Bisakah kita mengubah sampah jadi energi listrik?," *BBC News Indonesia*, 2016.
- [13] N. B. Klinghoffer and M. J. Castaldi, *Waste to energy conversion technology*. Elsevier, 2013.
- [14] P. J. Reddy, "Municipal solid waste management," *Netherlands CRC Press.*, 2011.
- [15] E. N. Kalogirou, *Waste-to-Energy technologies and global applications*. CRC Press, 2017.
- [16] H. Krisnani *et al.*, "Perubahan pola pikir masyarakat mengenai sampah melalui pengolahan sampah organik dan non organik di Desa Genteng, Kecamatan Sukasari, Kab. Sumedang," *Pros. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 2, 2017.
- [17] D. A. Posmaningsih, "Faktor-faktor yang mempengaruhi partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah padat di Denpasar Timur," *J. Skala Husada J. Heal.*,

- vol. 13, no. 1, 2016.
- [18] M. Rahim, "Strategi Pengelolaan Sampah Berkelanjutan," *J. Sipil Sains*, vol. 10, no. 1, 2020.
- [19] A. S. Suryani, "Peran bank sampah dalam efektivitas pengelolaan sampah (studi kasus bank sampah Malang)," *Aspir. J. Masal. Sos.*, vol. 5, no. 1, pp. 71–84, 2014.
- [20] D. Asteria and H. Heruman, "Bank sampah sebagai alternatif strategi pengelolaan sampah berbasis masyarakat di Tasikmalaya (Bank Sampah (Waste Banks) as an alternative of community-based waste management strategy in Tasikmalaya)," *J. Mns. dan Lingkung.*, vol. 23, no. 1, pp. 136–141, 2016.
- [21] R. A. Pratama and I. M. Ihsan, "Peluang penguatan bank sampah untuk mengurangi timbulan sampah perkotaan studi kasus: bank sampah Malang," *J. Teknol. Lingkung.*, vol. 18, no. 1, pp. 112–119, 2017.
- [22] B. M. Dwiyanto, "Model peningkatan partisipasi masyarakat dan penguatan sinergi dalam pengelolaan sampah perkotaan," *J. Ekon. Pembang. Kaji. Masal. Ekon. dan Pembang.*, vol. 12, no. 2, pp. 239–256, 2011.
- [23] N. K. A. Artiningsih, "Peran serta masyarakat dalam pengelolaan sampah rumah tangga (Studi kasus di Sampangan dan Jomblang, Kota Semarang)." program Pascasarjana Universitas Diponegoro, 2008.
- [24] B. D. Utami, N. S. Indrasti, and A. H. Dharmawan, "Pengelolaan sampah rumahtangga berbasis komunitas: teladan dari dua komunitas di sleman dan jakarta selatan," *Sodality J. Sociol. Pedesaan*, vol. 2, no. 1, 2008.
- [25] P. R. Indonesia, "Undang-undang republik indonesia nomor 18 tahun 2008 tentang pengelolaan sampah," *Sekr. Negara, Jakarta*, 2008.
- [26] J. M. Masjhoer, "Partisipasi Pelaku Usaha Pariwisata dalam Pengelolaan Sampah di Pantai Pulang Sawal, Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta," *J. Pariwisata Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 122–133, 2018.
- [27] A. S. Maulina, "Identifikasi Partisipasi Masyarakat Dalam Pemilahan Sampah di Kecamatan Cimahi Utara Serta Faktor Yang Mempengaruhinya," *J. Perenc. Wil. dan Kota*, vol. 23, no. 3, pp. 177–196, 2012.
- [28] G. Pratama, "Upaya Modernisasi dan Inovasi Pengelolaan Sampah Berbasis Masyarakat di Desa Leuwimunding Majalengka," *Etos J. Pengabd. Masy.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–49, 2020.
- [29] S. Subekti, I. Prayoga, and A. S. E. Sudrajat, "Pemberdayaan Masyarakat Dalam Pengelolaan Sampah Sebagai Upaya Penanganan Kawasan Kumuh Di Kawasan Pecangaan Kabupaten Jepara," *Indones. J. Spat. Plan.*, vol. 1, no. 2, pp. 45–50, 2021.
- [30] S. A. Mulasari, A. H. Husodo, and N. Muhadjir, "Kebijakan pemerintah dalam pengelolaan sampah domestik," *Kesmas J. Kesehat. Masy. Nas. (National Public Heal. Journal)*, vol. 8, no. 8, pp. 404–410, 2014.
- [31] R. Candrakirana, "Penegakan hukum lingkungan dalam bidang pengelolaan sampah sebagai perwujudan prinsip good environmental governance di kota Surakarta," *Yust. J. Huk.*, vol. 4, no. 3, pp. 581–601, 2015.
- [32] N. H. Setyoadi, "Faktor Pendorong Keberlanjutan Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Berbasis Masyarakat Di Kota Balikpapan Dan Bogor," *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 10, no. 1, pp. 51–66, 2018.