

Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Pengolahan Daur Ulang Limbah

Muhammad Taufiqurrohman¹, Maulana Yusuf²

¹Program Magister Teknologi Informasi Universitas Muhammadiyah Tangerang, Indonesia

²Program Sistem Informasi Universitas Raharja, Indonesia

taufikwarning15@gmail.com, maulanayusuf@raharja.info

*Corresponding Author: maulanayusuf@raharja.info

ABSTRAK

Tingkat produksi municipal solid waste diperkirakan akan meningkat menjadi 2,1 miliar ton per tahun pada tahun 2024 di seluruh dunia. Namun, di negara berkembang mulai dari pengumpulan, transportasi, dan pembuangan limbah tetap menjadi tantangan, dan di negara maju teknologi yang baru digunakan untuk menghasilkan berbagai produk sampingan seperti panas, listrik, kompos, dan bahan bakar nabati. Studi ini mengevaluasi berbagai teknologi limbah menjadi energi yang telah dikembangkan dari semenjak adanya penemuan yang mampu mengubah sampah untuk didaur ulang untuk menjadi energi terbarukan hingga saat ini. Untuk karya ini sendiri dapat dibagi menjadi empat kelompok. Yaitu mulai dari biological treatment of waste; thermal treatment of waste; landfill gas utilization; dan biorefineries. Selanjutnya, integrated solid waste management systems with waste-to-energy technologies telah aman dipelajari dan teruji layak untuk pembaruan energi yang sudah dapat menunjukkan beberapa contoh dari seluruh dunia. Metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan limbah yang belum tertanggulangi dalam karya ilmiah ini adalah dengan menggunakan teknologi WTE dan ISWM-S yang pastinya dapat menjadi solusi cemerlang dalam mengubah sampah padat perkotaan menjadi energi terbarukan untuk dunia yang bersih dari sampah hingga limbah dan juga menyediakan masa depan dimana masyarakat tidak perlu lagi khawatir akan keterbatasannya sumber daya alam yang terbatas untuk diolah menjadi energi.

Kata Kunci: Waste To Energy Technology (WTET), Integrated Solid Waste Management System (ISWM-S), Municipal Solid Waste (MSW)

ABSTRACT

The municipal solid waste production level is expected to increase to 2.1 billion tonnes per year by 2024 worldwide. However, waste collection, transportation, and disposal in developing countries remain challenging. In developed countries, new technologies produce various by-products such as heat, electricity, compost, and biofuels. This study evaluates different waste-to-energy technologies that have been developed since the invention of converting waste to be recycled into renewable energy. This work itself can be divided into four groups. That starts from the biological treatment of waste, thermal treatment of waste; landfill gas utilization; and biorefineries. Furthermore, integrated solid waste management systems with waste-to-energy technologies have been safely studied and tested as feasible for energy renewal, showing several examples from around the world. The method used to solve the unresolved waste problem in this scientific paper is to use WTE and ISWM-S technology which can undoubtedly be a brilliant solution in converting urban solid waste into renewable energy for a clean world from waste to waste provides a future. People no longer need to worry about the limitations of limited natural resources to be processed into energy.

Keywords: Waste To Energy Technology (WTET), Integrated Solid Waste Management System (ISWM-S), Municipal Solid Waste (MSW).





Taufiqurrohman, M., & Yusuf, M. (2022). Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Pengolahan Daur Ulang Limbah. *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan Dan Teknologi Informasi*, 1(1). Retrieved from <https://journal.pandawan.id/mentari/article/view/141>

Notifikasi Penulis: 13 September 2022

Akhir Revisi: 29 September 2022

Terbit: 30 September 2022

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini pengolahan sampah yang tepat diperlukan untuk mendukung aktivitas kehidupan yang sebagaimana pemanfaatan limbah menjadi energi terbarukan dari zaman ke zaman selalu berkembang menciptakan pengaruh besar kepada sumber daya alam di seluruh dunia [1]. Peningkatan kepadatan penduduk bersama dengan migrasi penduduk dari daerah pedesaan ke kota dan ekspansi industri menyebabkan sejumlah besar limbah, yang menyebabkan masalah sosial ekonomi dan ekologi. Total, Pengelolaan *Municipal Solid Waste (MSW)* lebih merupakan tantangan daripada peluang untuk mengekstrak bahan baku lainnya seperti bahan daur ulang, panas atau energi [2]. Perekonomian saat ini didorong oleh gaya hidup yang berorientasi pada konsumen di mana produksi limbah adalah produk sampingan intensif sumber daya yang paling jelas dan tidak menguntungkan. Sampah rumah tangga dapat dibagi menjadi organik dan anorganik (kertas, plastik, kaca, logam dan lain-lain) [3]. Tergantung pada perkembangan ekonomi, iklim, budaya dan sumber energi, komposisi pemukiman tetap bervariasi dari satu negara ke negara lain. Sementara negara-negara berpenghasilan rendah memiliki proporsi sampah organik tertinggi, sampah kota di negara-negara berpenghasilan tinggi sebagian besar terdiri dari bahan anorganik [4]. Sebuah laporan oleh Bank Dunia memperkirakan bahwa saat ini ada 1,3 miliar ton sampah di seluruh dunia per tahun; dan pada tahun 2025 jumlah ini akan meningkat menjadi 2,2 miliar ton per tahun [5]. Data ini menunjukkan kebutuhan mendesak akan strategi untuk mengatasi peningkatan timbulan sampah kota secara global. Namun, meskipun di negara-negara industri limbah dari sumber daya digunakan untuk menghasilkan energi, panas, bahan bakar dan kompos, di negara berkembang pengumpulan, transportasi dan pembuangan limbah adalah isu topikal [6][7]. Secara umum, kota-kota yang tidak mampu mengelola MSW-nya secara efektif jarang mampu mengelola layanan yang lebih canggih seperti listrik, kesehatan, pendidikan, atau transportasi. Teknologi limbah menjadi energi (WTE-T) adalah teknologi yang sangat menjanjikan bagi negara berkembang untuk mengubah limbah menjadi bentuk energi yang dapat digunakan. Di negara maju, WTW-T merupakan bagian dari *Integrated Waste Management System (ISWM-S)* mereka untuk tidak hanya menghasilkan produk sampingan lainnya tetapi juga untuk melawan pemanasan global dan perubahan iklim. Di seluruh dunia, WTE-T memainkan peran penting dalam pengelolaan sampah berkelanjutan dan pengurangan masalah lingkungan [8]. Teknologi ini umumnya diklasifikasikan ke dalam teknologi pengolahan biologis (atau proses biokimia) dan teknologi perlakuan termal (atau proses termokimia)[9]. Studi ini mengevaluasi perlakuan biologis yang berkaitan dengan teknologi pencernaan anaerobik dan perlakuan termal yang berkaitan dengan teknologi pirolisis, gasifikasi dan pembakaran di Bagian 2.1 dan Bagian 2.2, masing-masing. Dalam Bagian 2.3 dan 2.4, teknologi pemanfaatan gas TPA dan biorefineries untuk produksi metana dan biofuel diperiksa. Beberapa contoh ISWM-S menggunakan WTE-T juga diberikan di bagian 3. Akhirnya, analisis kritis dilakukan berdasarkan penggunaan WTE-T di negara-negara industri dan berkembang.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Waste to energy technologies

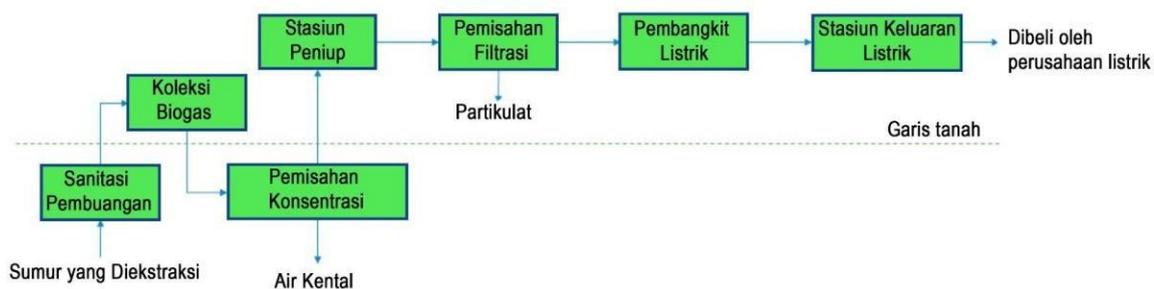
Dalam penjelasan metode penelitian ini akan dibahas teknologi *waste to energy* pada pengolahan biorefinery, pemanfaatan gas landfill, teknologi pengolahan termal dan juga pengolahan biologis.

2.2. Waste to energy technology: biorefinery

Konsep bioenergi memiliki kesamaan dengan kilang minyak bumi, dimana kilang tersebut membutuhkan bahan bakar fosil untuk menghasilkan banyak bahan bakar dan produk lainnya [10]. Bioenergi dapat mengubah sampah kota menjadi dua jenis biofuel, yaitu dalam bentuk gas dan cair. Oleh karena itu, dari dua bentuk biofuel yang dihasilkan, dapat digunakan untuk memanfaatkan panas di jaringan pemanas regional dan listrik di pembangkit listrik termal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, yang juga dapat menghasilkan bahan bakar transportasi. Untuk mendapatkan biogas membutuhkan tanaman dengan kandungan organik, dan gas sintesis membutuhkan daya yang dapat diandalkan yang dihasilkan oleh tanaman dengan kandungan anorganik melalui konversi [11]. Sistem sintesis bahan bakar yang terintegrasi dengan sistem gasifikasi dapat menghasilkan biodiesel, bioethanol/bio methanol, dan bio-jet fuel [12].

2.3. Waste to energy technology: Utilization of landfill gas

Dunia saat ini dipengaruhi oleh dampak global dari emisi gas dari tempat pembuangan sampah kota yang mempengaruhi lingkungan sekitarnya. Pembangkit listrik termal tipe blok ini membutuhkan biogas yang kaya metana untuk menghasilkan panas dan panas [16]. Baru-baru ini ada penelitian yang berhasil menunjukkan bahwa ada sekitar 75 miliar Nm³ yang diproduksi di tempat pembuangan sampah di seluruh dunia, yang beberapa persennya berpotensi untuk digunakan sebagai panas dan energi [17].



Gambar 2. Diagram biogas TPA sebagai pembangkit listrik saat ini [18].

Gas TPA untuk menghasilkan listrik dapat digunakan dalam berbagai cara, seperti siklus Rankine Organik, siklus Stirling dari mesin pembakaran internal, dan siklus Brayton, yang didasarkan pada teknologi sistem energi yang inovatif [19]. Tahapan pembangkitan listrik dari gas TPA, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, menunjukkan bagaimana pemeliharaan TPA akan mengarah pada perbaikan lahan dan pengurangan gas rumah kaca, sehingga mengurangi masalah kesehatan masyarakat.

2.4. Waste to energy technology: Thermal Treatment

Pengolahan termal adalah setiap teknologi pengolahan limbah yang melibatkan suhu tinggi dalam pengolahan bahan baku limbah. Thermal treatment adalah solusi untuk mengolah sampah yang tidak dapat didaur ulang dan tidak dapat digunakan kembali dengan cara yang ramah lingkungan dan ekonomis. Perlakuan termal mengurangi volume dan massa limbah dan memasukkan komponen berbahaya sementara pada saat yang sama menghasilkan energi panas atau listrik dan meminimalkan emisi polutan ke udara dan air. Perlakuan termal melibatkan penerapan panas untuk mengolah dan menguraikan bahan limbah melalui pendekatan yang berbeda. Pembakaran terbuka adalah metode utama pengolahan limbah termal tetapi dianggap sebagai proses invasif lingkungan. Tidak ada perangkat pengontrol polusi yang terlibat dalam pembakaran terbuka, yang memungkinkan polutan terlepas ke lingkungan. Metode ini dipraktekkan di sebagian besar negara karena memberikan solusi yang lebih murah untuk pengolahan limbah padat [20].

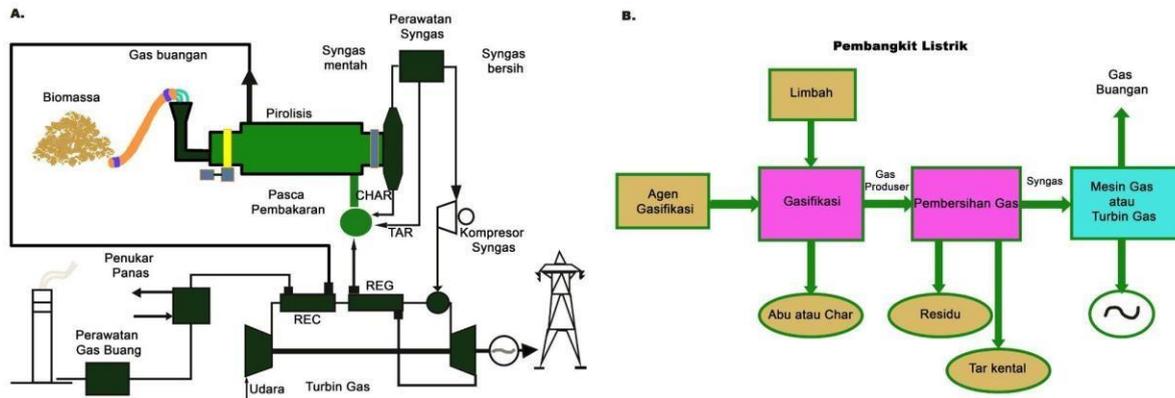
2.5. Waste to energy technology: Gasification

Selama tiga dekade terakhir, proses gasifikasi telah dikembangkan untuk menghasilkan energi dari limbah. Proses gasifikasi untuk menghasilkan energi dari limbah telah dikembangkan selama tiga dekade sebelumnya. Produk utama gasifikasi adalah bahan bakar gas, yang bioprosesnya melibatkan oksidasi parsial. Dengan gasifikasi, massa sampah dapat dikurangi hingga 70%. Gasifikasi dapat membatasi emisi gas rumah kaca dan mengurangi pilihan pembuangan di tempat pembuangan akhir yang menunjukkan bahwa gasifikasi merupakan pilihan praktis dalam mengubah sampah menjadi energi melalui hasil penelitian terbaru [21]. Dibutuhkan beberapa titik untuk menghasilkan panas dalam gasifikasi bahan bakar yang tersisa melalui proses tersebut. Gasifikasi sendiri memiliki beberapa keunggulan utama dari teknologi limbah menjadi energi, antara lain pengurangan volume limbah, potensi penghematan lahan yang tinggi, pengurangan limbah organik, pengurangan emisi, penggunaan bahan yang dapat didaur ulang, ramah lingkungan untuk gabungan listrik dan panas, sebagai limbah terbarukan. sumber, mengurangi pencemaran lingkungan, memiliki rentang suhu kerja yang tinggi, sifat teknis dan ekonomi [22]. Biogas yang dihasilkan melalui proses gasifikasi memiliki energi yang tinggi dan cukup bersih untuk menghasilkan energi pada mesin atau gas pada umumnya. Saat ini, proses gasifikasi limbah memiliki konfigurasi sistem yang berbeda dan delapan teknologi reaktor, termasuk reaktor plasma, poros vertikal dan kisi bergerak, tungku, entrained dan fluidized bed, rotary clean, fixed [23]. Pembangkit listrik turbin membutuhkan sumber potensial melalui campuran hidrogen yang mengandung hidrogen, metana, dan karbon dioksida, yang semuanya merupakan bahan bakar biogas [24]. Sebagai kesimpulan, pembangkit listrik gasifikasi, yang merupakan bagian dari teknologi limbah menjadi energi untuk pembangkit panas dan energi, ditunjukkan pada Gambar 3b.

2.6. Waste to energy technology: Pyrolysis

Pirolisis adalah teknologi untuk mengubah limbah menjadi energi tanpa oksigen dengan memecah limbah padat termal. Selama proses pirolisis, diperlukan panas luar dengan suhu yang sesuai untuk bahan yang digunakan. Pembongkaran dalam teknologi ini harus dipisahkan terlebih dahulu. Sehingga terjadi pemisahan mekanis antara bahan inert, logam, dan kaca. Dekomposisi termal bahan organik menjadi proses awal dalam ruang pemanas bebas oksigen atau reduksi oksigen [25]. Ketika suhu naik dalam keadaan non-reaktif, residu padat, cairan, dan gas akhirnya dapat diproduksi sebagai bentuk

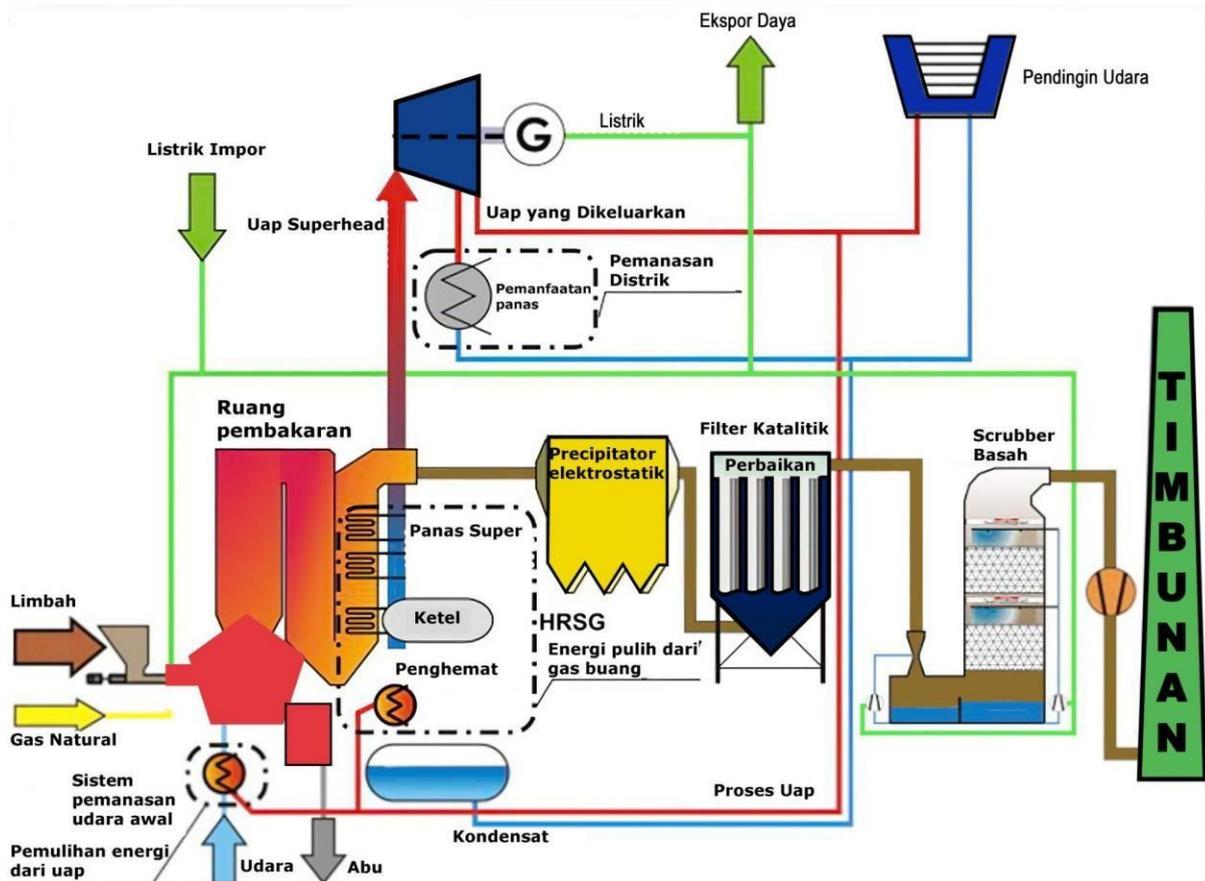
produk organik pirolisis. Ketika proses pirolisis berjalan, beberapa gas yang dihasilkan antara lain karbon dioksida, karbon monoksida, hidrogen, dan metana. Nilai kalor bersih dari gas sintesis juga telah disesuaikan [26]. Ketika distilasi hidrokarbon cair selesai dalam pirolisis sampah plastik, itu akan menghasilkan produk manufaktur dengan sifat yang sama seperti bahan bakar petro-diesel. Pirolisis memiliki keuntungan yaitu gas dapat dibakar untuk menghasilkan energi dan menjadi biofuel setelah gas tersebut dikondensasikan [27].



Gambar 3. (a) proses pemanasan pirolisis ; (b) konfigurasi daya gasifikasi [28].

2.7. Waste to energy technology: Incineration

Gambar 4 menunjukkan pembakaran tradisional teknologi limbah menjadi energi. Pada awal proses insinerasi, pembuangan limbah langsung dilakukan di ruang bakar bersamaan dengan temperatur pembakaran yang cukup dengan gas buang dan udara panas. Panas berlebih setelah pembakaran Uap dihasilkan dan digunakan di pembangkit listrik termal tipe blok untuk menghasilkan panas dan energi [29]. Panas dihasilkan melalui jaringan pemanas regional, dan generator yang terhubung ke turbin dapat menghasilkan tenaga listrik. Pembakaran juga berdampak pada lingkungan dengan gejala emisi gas rumah kaca yang merupakan masalah kesehatan [30]. Oleh karena itu, beberapa teknologi canggih dikembangkan untuk meminimalkan dampak tersebut, seperti gasifikasi yang dirancang untuk mengurangi logam berat yang mudah menguap dan pembakaran dengan sistem hybrid, tidak hanya teknologi canggih yang berhasil diciptakan sebagai bentuk upaya pengendalian kekhawatiran terhadap dampak insinerasi, yaitu dengan munculnya regulasi untuk mengurangi jumlah emisi spesifik seperti karbon monoksida, hidrogen klorida, karbon organik total, nitrogen dioksida, nitrogen oksida, logam berat volatil, hidrogen fluorida, sulfur dioksida dan debu.



Gambar 4. Menghasilkan panas dan listrik dari limbah padat kota melalui Insinerasi [16].

2.8. Waste to energy technology: Biological Processing

Sampah kota yang dapat terurai secara hayati dapat menghasilkan energi melalui potensinya yang relatif tinggi. Proses biologis alami bekerja dengan fraksi sampah kota dengan kekayaan organik yang dikembangkan melalui teknologi pengolahan biologis [31]. Ada dua pembagian dalam proses ini, yaitu aerobik jika prosesnya tidak membutuhkan oksigen dan pengomposan jika prosesnya membutuhkan kehadiran oksigen, kedua teknik yang digunakan tergantung pada kondisi di mana hal itu akan terjadi. Ada satu proses yang menjadi hal utama dalam pengolahan ini karena dalam proses tersebut menghasilkan panas biologis yang lebih sedikit dan memiliki energi yang lebih sedikit dibandingkan proses aerobik, bersifat biodegradable sebagian kecil diubah menjadi bahan bakar yang dikenal dengan biogas, gasnya mudah terbakar dan bersifat campuran karbon dioksida dan metana, yang merupakan proses anaerobik. Biogas yang dihasilkan dapat dibakar untuk menghasilkan listrik dan panas.

2.9. Waste to energy technology: Anaerobic digestion technology

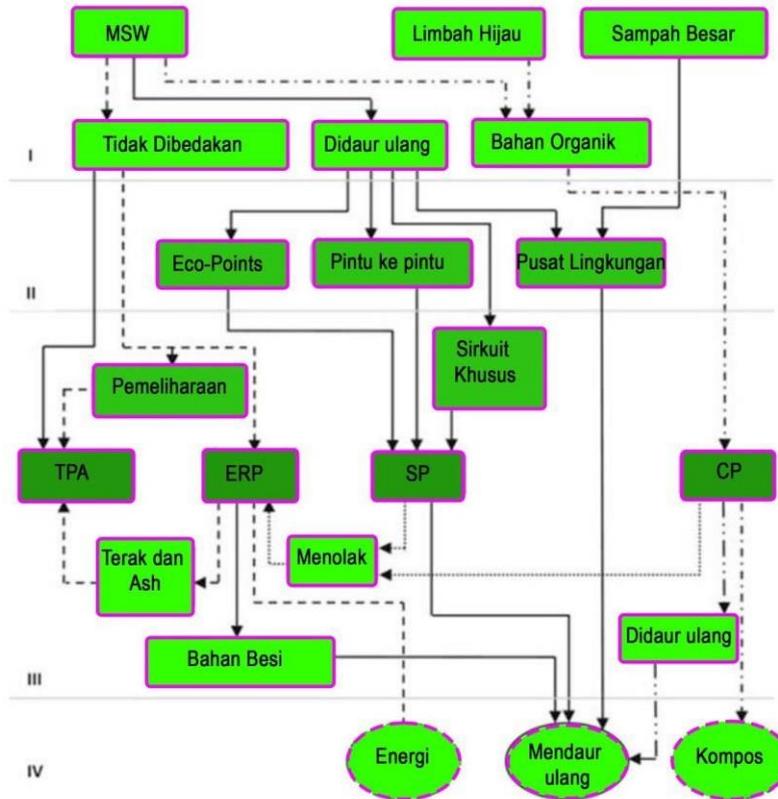
Teknologi biogas dibagi menjadi dua kelompok, yaitu kering dan basah. Teknologi kering digunakan untuk menangani bahan kering, sedangkan teknologi basah menangani banyak bahan cair. Tabel di bawah ini menjelaskan produksi biogas melalui teknologi anaerobik digestif, kelebihan dan kekurangannya. Umumnya, teknologi pencernaan anaerobik kering bekerja dengan menghasilkan panas yang lebih tinggi dan kandungan padatan yang lebih menakutkan. Teknologi pencernaan anaerobik basah digabungkan dan digunakan ke dalam sistem yang ditentukan untuk pengolahan air

limbah kota, yang menghasilkan air dan biogas yang didekontaminasi melalui proses fermentasi. Biogas yang dihasilkan dapat menghasilkan panas dan menghasilkan listrik di berbagai tempat sesuai prosedur yang diperlukan. Penelitian selanjutnya tentang pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar kendaraan dan proses industri yang diharapkan melalui produksi panas berlebih juga dapat dimanfaatkan. Produksi biogas dapat meminimalkan jumlah sampah yang nantinya akan dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA).

2.10. *Integrated solid waste management system*

Di negara-negara maju, sistem pengelolaan limbah padat terpadu sedang disebarluaskan dan dikembangkan; namun, masalah limbah faktual menjadi prioritas di atas sumber daya untuk pemulihan energi di negara berkembang. Investigasi dilakukan untuk menemukan pengalaman ISWM-S yang paling relevan dianalisis, dibahas, dan dijelaskan untuk mengatasi masalah ini. Adapun salah satu teknologi ISWM-S terancang, ia menerima penghargaan bergengsi dari Solid Waste Association of America sebagai bukti keunggulannya. Sistem pembangkit listrik limbah padat dengan ISWM-S-nya. Sistem fasilitas WTE yang menggunakan proses pembakaran tunggal dengan energi listrik hingga 53MW telah memenuhi tujuan yang ditetapkan melalui pengomposan, daur ulang, dan gas landfill. Pernyataan di atas menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah terpadu ini secara efisien menggunakan semua sampah kota yang dihasilkan, menghasilkan energi dari pupuk kandang dan bahan daur ulang, serta kompos. Menurut Kementerian Lingkungan Inggris, dalam perdebatan tentang masalah ini, Mengenai pemulihan energi dari limbah kota, area aplikasinya adalah penggunaan gas TPA dan pencernaan anaerobik. TPA sendiri masih menjadi pilihan utama untuk pengelolaan sampah karena biaya operasional dan modal awal yang lebih rendah dibandingkan pilihan lain seperti pengomposan, daur ulang, dan pemulihan energi. Selain itu, pirolisis juga merupakan rekomendasi untuk pengelolaan sampah kota terpadu lokal dengan proporsi ekonomi, memungkinkan pabrik untuk menghasilkan listrik dan panas dari pasar lokal secara lebih efisien. Pirolisis Teknologinya sangat berbeda tergantung pada kelayakan ekonomi, efisiensi, efektivitas, dan dampak lingkungan. ISWM dapat menggunakan total sampah yang dihasilkan dari sistem pengelolaan sampah antar kota.

Limbah kota pra-olahan yang tersisa dibuang di tempat pembuangan akhir sistem. Ada dua pabrik gasifikasi untuk bio, yaitu pabrik pengomposan untuk fraksi organik dan pabrik insinerasi untuk limbah padat. Gambar 5 menunjukkan sistem Porto ISWM. Sistem ini memiliki empat tahap. Pada tahap pertama, sampah dihasilkan oleh tetangga. Dewan kota kemudian mengumpulkan sampah secara terpisah dengan tiga cara berbeda. Pada tahap ketiga, limbah diolah di fasilitas lain. Karena energi, daur ulang, dan kompos adalah produk berharga dalam sistem komposit. Perlakuan termal menghasilkan energi dalam sistem pemulihan energi. Suhu tinggi antara 1000 ° C dan 1200 ° C membakar air limbah yang diolah dalam kondisi kelebihan oksigen. Independen energi tinggi Pabrik menjual 90% energi yang dihasilkannya ke jaringan listrik.



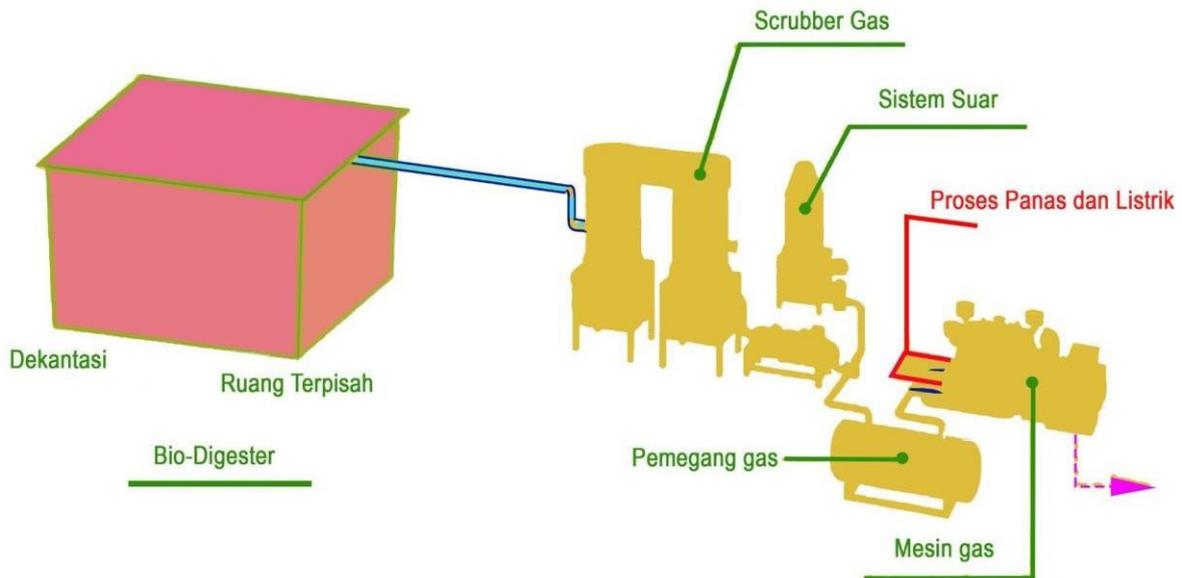
Gambar 4. ISWM-S dari Porto, Portugal. ERP (Energy Recovery Plant), SP (Sorting Plant), dan CP (Composting Plant). I – Populasi: produksi dan pembuangan; II – Dewan: produksi dan pembuangan; III – LIPOR: valorisasi dan pengobatan; IV – Klien: produk dan sumber daya diubah menjadi bahan berharga dari limbah padat kota.

Ada kekurangan penerapan teknik ini di negara berkembang. Sementara sistem teknis telah membantu negara-negara industri dengan masalah EMS mereka, pengumpulan dan pembuangan SWMS dalam Kata yang dikembangkan menimbulkan tantangan yang menimbulkan kekhawatiran tentang risiko lingkungan dan kesehatan masyarakat. Meskipun negara-negara industri menerapkan SMKI, sistem ini terbatas di negara-negara berkembang. Contoh soal matematika Model ini dibuat untuk perencanaan jangka panjang proyek ISWM, yang memuat beberapa variabel seperti WTET. SWM konvensional di negara berkembang Asia berkontribusi terhadap GRK-E. Setelah melihat ISWMS di seluruh dunia, kita dapat melihat hubungan yang kuat antara komposisi sampah dan pembangkit listrik. Pembuangan limbah rumah tangga memberikan kontribusi yang signifikan untuk mengurangi biaya dari pengumpulan ke pembangkit listrik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jelas dari tinjauan literatur bahwa WTET berkembang dalam skala besar di negara-negara maju. Namun, tidak semua masalah lingkungan ditangani. Masalah terbesar dalam sistem pengetahuan global adalah bahwa teknologi ini diprivatisasi, dan teknologi informasi tidak dibagikan untuk perlindungan lingkungan bahkan di negara-negara industri. Sistem pengelolaan sampah yang tidak efisien menyebabkan masalah ketahanan energi dan kesehatan masyarakat. Di negara berkembang, skenarionya bahkan lebih buruk. Pengumpulan, pengangkutan, dan pembuangan sampah merupakan tantangan saat ini. Namun, negara-negara industri memberikan kontribusi paling besar terhadap lingkungan dengan gas rumah kaca. Sementara negara-negara berkembang memproduksi barang-

barang lingkungan secara gratis, negara-negara industri memiliki pengetahuan yang dijual ke negara-negara industri dan berkembang. WTWT di negara berkembang harus diterapkan untuk memaksimalkan barang ekologis dunia, mengurangi kemiskinan, dan mengurangi pembangkitan energi dari limbah.



Gambar 1. Gabungan biopower dan kilang panas untuk mengolah limbah padat kota [13]

Bahan bakar dari bioenergi sampah kota dapat digunakan untuk transportasi, pemanasan distrik, dan pembangkit listrik termal. Bahkan pembangkit listrik gasifikasi termal limbah dengan lebih dari 150 MW digunakan oleh pabrik gasifikasi pertama di dunia [14]. Di sini, bahan bakar yang diperoleh dari efluen diubah menjadi gasifier unggul terfluidisasi yang bersirkulasi pada tekanan atmosfer. Jika pengotor menyebabkan munculnya korosi boiler, gas akan didinginkan sehingga bahan korosif menjadi partikel padat mudah dipilih. Perlu diwaspadai jika muncul bottom ash, fly ash, dan filter ash. Produk gas yang didinginkan harus dibersihkan dengan penyaringan mekanis. Proses Boiler kemudian menghasilkan uap panas untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik melalui generator. Jaringan pemanas distrik akan mengakomodasi sisa kelembaban turbin [15].

Teknologi Pencernaan Anaerobik Basah (padatan rendah) memiliki keuntungan bila digunakan di tempat pembuangan sampah Tingkat pengembalian internal yang tinggi Metode pra-pengolahan untuk meningkatkan efisiensi proses biogas Tingkat pembentukan lumpur yang rendah Suhu operasi yang rendah Operasi yang stabil dan kerugiannya Difusi teknologi yang lebih sedikit Investasi fasilitas yang rendah Subsidi pemerintah yang rendah Budidaya periode besar pada suhu Mesofilik (35–40 °C). Suhu termofilik (55–60 °C) memiliki keunggulan. Produksi hidrogen dan metana Tingkat pemuatan organik yang tinggi Biaya operasi dan pemeliharaan yang rendah Peningkatan produksi gas Ketahanan terhadap pembusaan dan kekurangannya Kurang stabil - masalah ketidakstabilan Konsentrasi asam volatil residu yang lebih tinggi Jumlah fermentor yang terbatas. Untuk Teknologi Pencernaan Anaerobik, kering (padatan tinggi) memiliki keuntungan Lebih sedikit akumulasi asam yang mudah menguap Tingkat pertumbuhan spesifik Mikroorganisme yang lebih rendah Penghapusan bahan organik dan defisiensi maksimum Pengurangan selulosa dan hemiselulosa yang lebih rendah Waktu operasi yang lebih lama untuk mendapatkan metana dan bahan organik yang terdegradasi pada suhu Mesofilik dari 35°C. Untuk suhu Termofilik, 55 ° C memiliki keunggulan pengurangan selulosa dan hemiselulosa yang lebih tinggi. Waktu operasi yang lebih singkat untuk produksi metana dan

degradasi bahan organik (20 hari) Koefisien produksi metana yang lebih tinggi. Penghambatan oleh amonia dengan organik Laju pemuatan dan defisiensi akumulasi asam lemak volatil Laju pertumbuhan spesifik Mikroorganisme yang lebih tinggi.

4. KESIMPULAN

Dalam studi ini, limbah padat kota dievaluasi sebagai sumber energi terbarukan dunia yang berharga dan kemungkinan pemulihan energi menggunakan WTET. Berbagai WTET telah dikembangkan sejauh ini, dan integrasi teknologi dengan SWM-S dibahas. Beberapa contoh diberikan dari seluruh dunia. Sampah perkotaan merupakan sumber energi potensial baik di negara maju maupun negara berkembang. Namun, kurangnya transfer teknologi antar negara tersebut. Ada berbagai teknologi untuk menghasilkan energi limbah rumah tangga. ISWM-S mengelola MSW secara efektif dan efisien. Memilih dan menggunakan WTET yang tepat dapat dimulai dari mempertimbangkan limbah menjadi sumber energi terbarukan. mengkonversi biomassa dari MSW untuk menghasilkan biofuel, listrik, panas, pupuk organik, dan produk kimia bernilai tambah. Teknologi ini dan sistem manajemen yang tepat dari MSW adalah contoh kuat dari sistem pembuangan di seluruh dunia. Inisiatif ini menghasilkan bahan baku dari limbah seperti kompos, bahan daur ulang, panas, dan energi di negara-negara industri, meskipun SWM masih menjadi masalah di negara berkembang

SARAN

Sebagai penutup laporan penelitian ini dikemukakan beberapa saran yang berhubungan dengan penelitian ini. Adapapun saran dari penelitian ini yang diharapkan dapat mempertinggi kesadaran masyarakat dalam pentingnya penanggulangan limbah baik itu pengamalan dari teknologi pengolah limbah mulai dari biorefinery, Utilization of landfill gas, Thermal Treatment, Gasification, Pyrolysis, Incineration, Biological Processing, Anaerobic digestion technology dan Integrated solid waste management system dan juga penelitian lebih lanjut untuk pengembangan teknologi pengolah limbah.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis penelitian ini mengucapkan terima kasih kepada Universitas Raharja yang telah mendukung peneliti kami. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada Keluarga Alphabet Incubator dan Energi terbarukan REY Group, atas waktu dan dukungannya dalam penyusunan karya ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Faturahman, N. P. L. Santoso, W. Y. Prihastiwi, and B. A. A. Laksmiingrum, "SaaS Platform for Blockchain Based E-Document Authentication applications," in *2022 International Conference on Science and Technology (ICOSTECH)*, 2022, pp. 1–7.
- [2] T. Wahyuningsih, F. P. Oganda, and M. Anggraeni, "Design and Implementation of Digital Education Resources Blockchain-Based Authentication System," *Blockchain Front. Technol.*, vol. 1, no. 01, pp. 74–86, 2021.
- [3] E. S. N. Aisyah, H. Haryani, M. Budiarto, W. Y. Prihastiwi, N. P. L. Santoso, and B. H. Hayadi, "Blockchain iLearning Platform in Education," in *2022 International Conference on Science and Technology (ICOSTECH)*, 2022, pp. 1–8.
- [4] R. Widhawati, A. Khoirunisa, N. P. L. Santoso, and D. Apriliasari, "Secure System Medical Record with Blockchain System: Recchain Framework," in *2022 International Conference on Science and Technology (ICOSTECH)*, 2022, pp. 1–8.

- [5] Z. Fauziah, H. Latifah, U. Rahardja, N. Lutfiani, and A. Mardiansyah, "Designing student attendance information systems web-based," *Aptisi Trans. Technopreneursh.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–31, 2021.
- [6] P. H. Brunner and H. Rechberger, "Waste to energy—key element for sustainable waste management," *Waste Manag.*, vol. 37, pp. 3–12, 2015.
- [7] W. Setyowati and A. Sofingi, "Determinants of Employee Performance with Work Motivation as an Intervening Variable at the Semarang City Search and Rescue Office," *Aptisi Trans. Manag.*, vol. 6, no. 1, pp. 19–29, 2022.
- [8] F. A. Rahardja, S.-C. Chen, and U. Rahardja, "Review of Behavioral Psychology in Transition to Solar Photovoltaics for Low-Income Individuals," *Sustainability*, vol. 14, no. 3, p. 1537, 2022.
- [9] A. S. Bein, Y. I. Graha, and A. P. Pangestu, "Pandawan Website Design Based Content Management System As Media E-commerce Transaction," *Aptisi Trans. Technopreneursh.*, vol. 2, no. 1, pp. 87–97, 2020.
- [10] P. Edastama, S. Purnama, R. Widayanti, L. Meria, and D. Rivelino, "The Potential Blockchain Technology in Higher Education Learning Innovations in Era 4.0," *Blockchain Front. Technol.*, vol. 1, no. 01, pp. 104–113, 2021.
- [11] N. Lutfiani, Q. Aini, U. Rahardja, L. Wijayanti, E. A. Nabila, and M. I. Ali, "Transformation of blockchain and opportunities for education 4.0," *Int. J. Educ. Learn.*, vol. 3, no. 3, pp. 222–231, 2021.
- [12] U. Rahardja, T. Hongsuchon, T. Hariguna, and A. Ruangkanjanases, "Understanding Impact Sustainable Intention of S-Commerce Activities: The Role of Customer Experiences, Perceived Value, and Mediation of Relationship Quality," *Sustainability*, vol. 13, no. 20, p. 11492, 2021.
- [13] I. K. Gunawan, N. Lutfiani, Q. Aini, F. M. Suryaman, and A. Sunarya, "Smart Contract Innovation and Blockchain-Based Tokenization in Higher Education," *J. Educ. Technol.*, vol. 5, no. 4, pp. 636–644, 2021.
- [14] T. Hariguna, Y. Durachman, M. Yusup, and S. Millah, "Blockchain technology transformation in advancing future change," *Blockchain Front. Technol.*, vol. 1, no. 01, pp. 13–20, 2021.
- [15] N. Lutfiani, U. Rahardja, and K. T. Khasanah, "The Development Viewboard As an Information Media at Official Site Asosiation," *APTISI Trans. Manag.*, vol. 6, no. 1, pp. 10–18, 2022.
- [16] D. Moya, C. Aldás, G. López, and P. Kaparaju, "Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies," *Energy Procedia*, vol. 134, pp. 286–295, 2017.
- [17] F. Agustin, Q. Aini, A. Khoirunisa, and E. A. Nabila, "Utilization of Blockchain Technology for Management E-Certificate Open Journal System," *Aptisi Trans. Manag.*, vol. 4, no. 2, pp. 133–138, 2020.
- [18] T. Ayuninggati, N. Lutfiani, and S. Millah, "CRM-Based E-Business Design (Customer Relationship Management) Case Study: Shoe Washing Service Company S-Neat-Kers," *Int. J. Cyber IT Serv. Manag.*, vol. 1, no. 2, pp. 216–225, 2021.
- [19] U. Rahardja and N. Lutfiani, "The Strategy of Improving Project Management Using Indicator Measurement Factor Analysis (IMF) Method," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1477, no. 3, p. 32023.
- [20] D. L. Granatstein, "Case study on Lahden Lampovoima gasification project, Kymijarvi power station, Lahti, Finland," *IEA Bioenergy Agreement—Task*, vol. 36, 2002.
- [21] U. Rahardja, N. Lutfiani, and S. Amelia, "Creative Content Marketing In Scientific Publication Management In Industrial Era 4.0," *Aptisi Trans. Manag.*, vol. 3, no. 2, pp. 168–177, 2019.
- [22] R. B. Nair, P. R. Lennartsson, and M. J. Taherzadeh, "Bioethanol production from agricultural and municipal wastes," in *Current developments in biotechnology and bioengineering*, Elsevier, 2017, pp. 157–190.

- [23] A. S. Rafika, M. Hardini, A. Y. Ardianto, and D. Supriyanti, "Face Recognition based Artificial Intelligence With AttendX Technology for Student Attendance," in *2022 International Conference on Science and Technology (ICOSTECH)*, 2022, pp. 1–7.
- [24] U. Rahardja, Q. Aini, F. Budiarty, M. Yusup, and A. Alwiyah, "Socio-economic impact of Blockchain utilization on Digital certificates," *Aptisi Trans. Manag.*, vol. 5, no. 2, pp. 106–111, 2021.
- [25] A. Williams and E. Dolan, "Application of Blockchain Technology in e-LoA Technopreneurship Journal," *Aptisi Trans. Technopreneursh.*, vol. 2, no. 1, pp. 98–103, 2020.
- [26] U. Rahardja, M. A. Ngadi, R. Budiarto, Q. Aini, M. Hardini, and F. P. Oganda, "Education Exchange Storage Protocol: Transformation into Decentralized Learning Platform," in *Frontiers in Education*, 2021, p. 477.
- [27] U. Rahardja, A. N. Hidayanto, P. O. H. Putra, and M. Hardini, "Immutable Ubiquitous Digital Certificate Authentication Using Blockchain Protocol," *J. Appl. Res. Technol.*, vol. 19, no. 4, pp. 308–321, 2021.
- [28] M. S. Korai, R. B. Mahar, and M. A. Uqaili, "The feasibility of municipal solid waste for energy generation and its existing management practices in Pakistan," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 72, pp. 338–353, 2017.
- [29] Q. Aini, U. Rahardja, M. R. Tangkaw, N. P. L. Santoso, and A. Khoirunisa, "Embedding a blockchain technology pattern into the QR code for an authentication certificate," *J. Online Inform.*, vol. 5, no. 2, pp. 239–244, 2020.
- [30] A. Dudhat, N. P. L. Santoso, S. Santoso, and R. Setiawati, "Blockchain in Indonesia University: A Design Viewboard of Digital Technology Education," *Aptisi Trans. Technopreneursh.*, vol. 3, no. 1, pp. 68–80, 2021.
- [31] Q. A. Henderi, N. P. L. Santoso, A. Faturahman, and U. Rahardja, "A proposed gamification framework for smart attendance system using rule base," *J. Adv. Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 1827–1838, 2020.