

Review Metode Pengolahan Sampah Kota Menjadi Energi

Erda Rahmilaila Desffitri¹, Iqbal Hapsauqi², Fitri¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Bung Hatta, Jl. Gajah Mada No. 19, Gunung Pangilun, Padang, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Prof. Dr. Soepomo, Janturan, Yogyakarta

Email : rahmilaila@bunghatta.ac.id (N.P1), iqbal2107054005@webmail.uad.ac.id(N.P2),
fitribaik0001@gmail.com(N.P3);

Abstrak : Meningkatnya pertumbuhan penduduk di perkotaan di Indonesia secara tidak langsung meningkatkan produksi sampah kota (MSW). Limbah padat kota didefinisikan sebagai limbah yang dikumpulkan oleh pemerintah kota atau dibuang di tempat pembuangan limbah kota dan mencakup limbah perumahan, industri, institusi, komersial, kota, serta konstruksi dan pembongkaran. Pengelolaan sampah kota dapat menggantikan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan melalui proses konvensional dan non-konvensional. Tulisan ini menggunakan metode tinjauan literatur. Kriteria artikel yang dijadikan sumber primer adalah artikel berjenis penelitian asli. Tujuan dilakukannya proses kajian pustaka ini adalah untuk memberikan informasi mengenai pengolahan dan pemanfaatan sampah sesuai dengan kondisi daerah masing-masing sehingga dapat dijadikan rujukan atau rujukan dalam menjadikan sampah sebagai sumber energi sehingga dapat melindungi dan merawat. untuk lingkungan. Teknologi konvensional seperti pengomposan, pencernaan anaerobik, dan proses pembakaran menyajikan langkah-langkah utama dalam pengolahan sampah menjadi energi. Teknologi non-konvensional dibahas secara rinci untuk sampah anorganik, seperti pirolisis, gasifikasi, dan oksidasi basah. Pirolisis dapat mengubah 80-84% sampah kota menjadi syngas dan biochar.

Kata Kunci : Konversi Energi, Pengolahan Sampah, Sampah Kota, Sampah Menjadi Energi

Abstract : Increasing population growth in urban areas in Indonesia indirectly increases municipal solid waste (MSW) production. Municipal solid waste is defined as waste collected by the municipality or disposed of at the municipal waste disposal site and includes residential, industrial, institutional, commercial, municipal, construction and demolition waste. Municipal solid waste management can replace non-renewable fossil fuels through conventional and non-conventional processes. This paper uses the literature review method. The criteria for articles used as primary sources are original research-

Jurnal Energi Baru & Terbarukan, 2025, Vol. 6, No. 1, pp 155 – 164

Received : 26 Maret 2025

Accepted : 31 Maret 2025

Published : 31 Maret 2025



Copyright: © 2022 by the authors. [Jurnal Energi Baru dan Terbarukan](#) (p-ISSN: [2809-5456](#) and e-ISSN: [2722-6719](#)) published by Master Program of Energy, School of Postgraduate Studies. This article is an open access article distributed under the terms and condition of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#) (CC BY-SA 4.0).

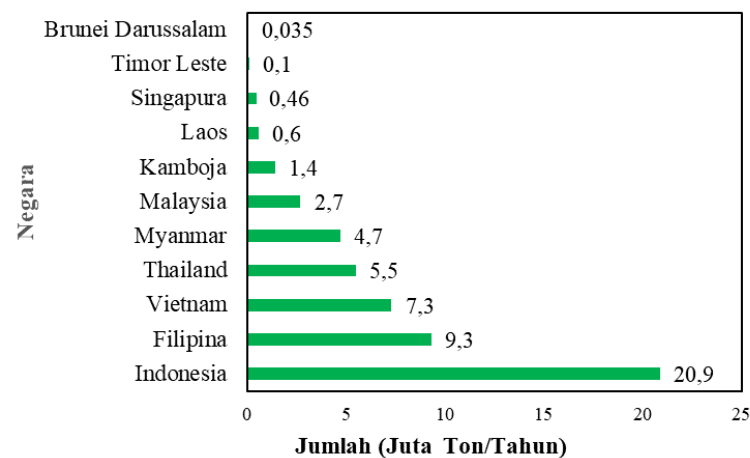
type articles. The purpose of carrying out this literature review process is to provide information about the processing and utilization of waste by the conditions of each region so that it can be used as a reference or reference in making waste an energy source so that it can protect and care for the environment. Conventional technologies such as composting, anaerobic digestion, and incineration processes present the main steps involved in waste-to-energy processing. Non-conventional technologies are discussed in detail for inorganic waste, such as pyrolysis, gasification, and wet oxidation. Pyrolysis can convert 80-84% of municipal waste into syngas and biochar.

Keywords : *Energy Conversion, Municipal Waste, Waste to Energy, Waste Treatment*

1. Pendahuluan

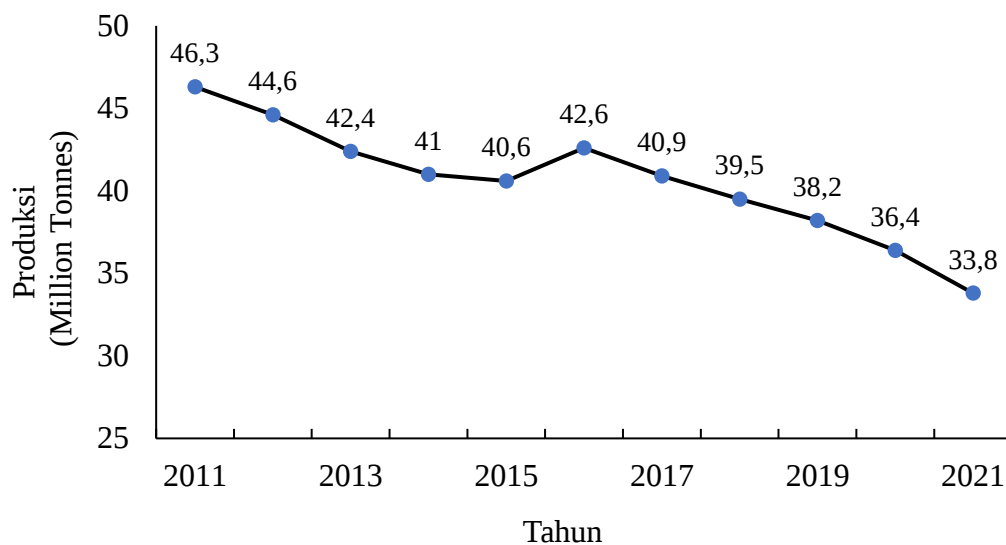
Pengelolaan sampah di Indonesia saat ini masih belum menemui titik temu yang tepat. Berbagai masalah muncul akibat pengelolaan sampah yang kurang baik seperti pencemaran udara, pencemaran air, dan penyebab banjir. Selain itu, peningkatan pertumbuhan penduduk secara tidak langsung juga meningkatkan jumlah sampah yang dihasilkan. Kota yang mempunyai penduduk yang padat menghasilkan jumlah sampah yang lebih banyak. Masalah-masalah seperti ini ujung-ujungnya membahayakan kesehatan manusia, hewan dan lingkungan sekitar.

Di Indonesia pemilahan sampah berdasarkan jenisnya belum dilakukan secara optimal. Berbeda dengan negara-negara maju yang sudah mulai memilah sampah berdasarkan jenisnya di mulai dari sampah rumah tangga hingga limbah industri. Pemilahan ini memudahkan pengelolaan dan pemanfaatan sampah sesuai dengan jenisnya. Sedangkan di Indonesia, secara umum sampah rumah tangga dikumpulkan dalam satu tempat kemudian akan diambil oleh petugas kebersihan kota setiap harinya. Sampah ini termasuk kategori sampah kota atau Municipal Solid Waste (MSW). sampah kota adalah sampah yang dikumpulkan dan diolah oleh kotamadya yang meliputi sampah rumah tangga, sampah sejenis dari perdagangan, gedung perkantoran, lembaga dan usaha kecil, serta sampah pekarangan dan kebun, sapuan jalan, isi tempat sampah, dan sampah pembersih pasar jika dikelola secara rumah tangga [1]. Jika dilihat dari satu jenis sampah saja, Indonesia merupakan penghasil sampah makanan terbesar di Asia Tenggara seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Jumlah Sampah Makanan di Asia Tenggara (2021)

Padahal, pengelolaan sampah yang baik dapat menggantikan energi fosil yang tidak dapat diperbarui dengan sesuatu yang berkelanjutan. Proses pengolahan sampah menjadi energi secara signifikan dapat mengurangi volume sampah sekitar 50–90% [2]. Menurut beberapa penelitian sampah kota dapat dikonversi menjadi bermacam bahan kimia atau bahan bakar seperti biogas, hydrogen, gas sintetik (synthetic gas/syngas), asam organik dan lain-lain [3] dan [4]. Di sisi lain, ketersediaan fosil sebagai bahan bakar semakin menipis seperti yang bisa dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 memperlihatkan produksi minyak bumi yang menurun dari tahun ke tahun, dengan tingkat pertumbuhan pada 10 tahun terakhir adalah -3,1% [5]. Berdasarkan data tersebut pemanfaatan sampah sebagai sumber energi adalah langkah yang sangat tepat. Selain bisa menjaga kebersihan lingkungan juga menggantikan sumber energi.



Gambar 2. Produksi Minyak Bumi dari Tahun 2011-2021

Saat ini, pemerintah Indonesia sangat mendukung upaya pengelolaan sampah menjadi energi (waste-to-energy/WTE) dengan melibatkan PT PLN dengan menerbitkan kebijakan yang dapat dijadikan acuan untuk jual beli tenaga listrik yang dihasilkan oleh Pengolahan Sampah menjadi Energi Listrik (PSEL) atau Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa). Kebijakan ini dituangkan dalam Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 35 tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolahan Sampah. Kebijakan ini diikuti oleh kebijakan-kebijakan lain seperti PP 27 Tahun 2020 tentang Pengelolaan Sampah Spesifik, Peraturan Menteri No.14 Tahun 2021 tentang Pengelolaan Sampah pada Bank Sampah, dan Peraturan Menteri No.6 Tahun 2022 tentang Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN).

Atas dasar fenomena tersebut maka literature review ini dilakukan untuk mengumpulkan dan membandingkan metode yang digunakan dalam proses pengolahan dan pemanfaatan limbah kota. Baik proses yang ada di dalam negeri maupun di luar negeri. Tujuan dilakukannya proses literature review ini adalah untuk menyediakan informasi tentang proses pengolahan dan pemanfaatan limbah yang sesuai dengan kondisi daerah masing-masing sehingga dapat dijadikan acuan atau referensi dalam menjadikan sampah sebagai sumber energi sehingga mampu menjaga dan merawat lingkungan.

2. Metode

Penulisan artikel ini menggunakan metode literature review. Literature review adalah menyediakan kerangka kerja berkaitan dengan temuan baru dan temuan sebelumnya dengan tujuan untuk mengidentifikasi indikasi ada atau tidaknya kemajuan dari hasil suatu kajian melalui penelitian komprehensif dan hasil intepretasi dari literatur yang berhubungan dengan topik tertentu dimana di dalamnya mengidentifikasi pertanyaan penelitian dengan mencari dan menganalisa literatur yang relevan menggunakan pendekatan sistematis [6]. Kriteria artikel yang digunakan sebagai sumber utama adalah: artikel berjenis riset orisinil, artikel dipublikasikan pada tahun 2017 hingga 2022, artikel menggunakan bahasa Indonesia dan Inggris, artikel berasal dari dalam dan luar negeri, artikel berasal dari data base berupa science direct, MDPI, research gate and google scholar, dan artikel dipublikasikan dalam bentuk teks penuh. Obyek penelitian pada artikel yang digunakan adalah sampah.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan penjabaran mengenai metode di atas, maka pada tulisan ini digunakan sejumlah 7 (tujuh) artikel ilmiah yang dipilih sebagai artikel utama untuk menjawab tujuan penelitian. Dari artikel tersebut penulis menemukan beberapa perbedaan strategi pemanfaatan dan pengelolaan sampah kota menjadi energi di Indonesia dan beberapa negara di luar negeri seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penelitian Mengenai Pemanfaatan dan Pengolahan Sampah dari Berbagai Lokasi

Judul Artikel dan Penerbit	Penulis, Tahun	Keterangan Paper
<i>Analysis of catalytic pyrolysis of municipal solid waste and paper sludge using TG-FTIR, Py-GC/MS and DAEM (distributed activation energy model),</i> Energy	Shiwen Fang, et al., 2018	Pengolahan sampah kota dan lumpur kertas menggunakan metode pyrolysis dengan penambahan MgO. Hasil yang diperoleh setelah menambahkan lumpur kertas, jumlah polutan berkurang, jumlah hidrokarbon alifatik menurun dan senyawa oksigenat meningkat. Sedangkan setelah penambahan MgO, hasil menunjukkan massa residu menurun, emisi polutan berkurang, rasio hidrokarbon alifatik menjadi lebih besar, rasio senyawa oksigenat menjadi lebih kecil, dan energi aktivasi berkurang [7]
<i>"Thermochemical Conversion of Biomass and Municipal Waste into Useful Energy Using Advanced HiTAG/HiTSG Technology,"</i> Green Energy Technology	Jan Stasiek et al., 2020	Menjelaskan penelitian tentang proses pengolahan sampah kota yang dilakukan oleh salah satu universitas di Poland. Pengolahan sampah dilakukan dengan proses Termokimia dengan memanfaatkan teknologi <i>High Temperature Air/ Steam (HiTAG/HiTSG)</i> dengan preheater pada suhu 1600 °C. Gasifikasi HiTAG/HiTSG mampu mengolah sampah menjadi bahan bakar dan gas sintetik. Sedangkan suhu tinggi dari proses yang dihasilkan dalam preheater menghilangkan

		zat berbahaya seperti tar, dioksin dan furan yang dapat terbentuk pada suhu rendah [8]
<i>Hydrothermal treatment of municipal solid waste into coal-like fuel”, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science</i>	Putra et al., 2020	Pengolahan sampah kota dengan menggunakan proses hidrotermal atau termokimia yang digunakan untuk mengubah limbah biomassa basah menjadi bahan seperti batubara dengan kandungan karbon lebih tinggi yang disebut hydrochar [9]
<i>Production of Portland cement clinker from French Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash. Case Studies in Construction Materials</i>	(Kleib et al. 2021)	Penelitian ini menjelaskan tentang pemanfaatan hasil pembakaran (bottom ash) limbah kota untuk bahan baku sekunder klinker semen Portland [10]
<i>Municipal solid waste: A potential source of clean energy for Khartoum State in Sudan. Energy Reports</i>	(Farouk et al. 2022)	Menjelaskan gambaran potensi limbah kota untuk digunakan sebagai sumber energi di Negara Bagian Khartoum di Sudan. Sekitar setengah dari limbah kota dapat digunakan sebagai bahan bakar. Sampah kota merupakan sumber energi dengan emisi yang jauh lebih rendah daripada energi dari minyak atau gas alam. Secara lebih umum, biomassa-ke-energi dalam segala bentuknya perlu diakui sebagai pilihan penting bagi Sudan, karena secara bersamaan memberikan energi plus berbagai manfaat lingkungan dan sosial, termasuk manfaat kesehatan bagi pemilik rumah [11]
<i>Potential Utilization of Municipal Solid Waste in Landfill Mining TPST Bantargebang Bekasi to Become Refuse Derived Fuel (RDF) Feed Stock. Journal of Natural Resources and Environmental Management</i>	(Resmianty et al. 2022)	Dalam tulisan ini dibahas tentang potensi limbah kota menjadi Feed Stock Refuse Derived Fuel (RDF). Refuse Derived Fuel adalah merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari residu atau bahan yang memiliki nilai kalor tinggi [12]
<i>Renewable hydrogen production from the organic fraction of municipal solid waste through a novel carbon-negative process concept. Energy</i>	(Wang et al. 2022)	Studi ini mengusulkan proses terintegrasi pengolahan limbah kota untuk menghasilkan hidrogen dengan kemurnian tinggi dan menghasilkan emisi CO ₂ ekuivalen negatif dengan menggabungkan proses anaerobik, pirolisis, reformasi katalitik, pergeseran air-gas, dan teknologi adsorpsi tekanan ayunan (pressure swing adsorption technologies) [13]

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa sampah kota bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi, bahkan hasil pembakarannya dari sampah yang digunakanpun bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku sekunder untuk klinker semen Portland.

Berikut beberapa teknologi pengolahan sampah menjadi energi yang bisa dilakukan untuk menjaga lingkungan. Pengolahan sampah menjadi energi bisa dilakukan secara konvensional dan non-konvensional [14].

Pengolahan Secara Konvensional

Teknologi pengolahan sampah secara konvensional pada umumnya melalui proses pengumpulan, penyortiran jika diperlukan, proses transformasi sampah misalnya anaerobic digester, pemisahan produk dan pembentukan energi. Dalam tulisan ini dilakukan review pada 3 proses konvensional, yaitu *composting*, *anaerobic digestion* dan *inceneration*.

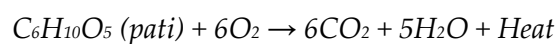
a. Composting

Proses pengolahan dengan metode pengomposan atau composting khusus digunakan untuk proses pengolahan sampah organik. Composting adalah proses pengendalian penguraian secara biologi dari bahan organik, misalnya sampah sisa makanan ((C₁₈H₂₆O₁₀N)), rumput dan dedaunan (C₂₃H₃₈O₁₇N), limbah dari kertas (C₂₆₆H₄₃₄O₂₁₀N) yang secara alami terdegradasi menjadi humus seperti kompos. Kompos adalah material yang kaya akan unsur hara dan mikroba yang bermanfaat, sehingga digunakan sebagai pupuk dan pembenah tanah. Selama proses composting, komponen utama sampah organik kota seperti protein, lipid, karbohidrat, lignin dan abu teroksidasi dengan adanya nutrisi dan mikroba yang sesuai untuk membentuk kompos, air (H₂O), karbondioksida (CO₂), nitrat (NO₃⁻), sulfat (SO₄²⁻), amonia (NH₃), asam organik, dan panas seperti yang terlihat pada Persamaan 1[15].

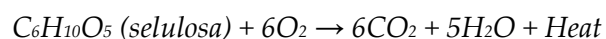
Protein, lemak, karbohidrat, lignin, abu + O₂ → Compost + CO₂ + H₂O + NO₃⁻ + SO₄²⁻ + NH₃ + asam lemak + panas

(1)

Kemudian, oksidasi karbohidrat seperti pati atau selulosa yang termineralisasi dalam limbah menghasilkan air (H₂O), karbon dioksida (CO₂), dan panas, seperti pada Persamaan 2 dan 3 [16].



(2)



(3)

Selama pengomposan, sekitar 38% panas dilepaskan karena bio-oksidasi karbohidrat yang ada dalam limbah padat organik [17].

b. Anaerob Digestion

Anaerobic digestion merupakan proses degradasi biomassa organik pada kondisi tanpa oksigen. Menurut Igoni A.H. et al., anaerob digester adalah proses biologis anaerobik dimana mikroba (misalnya mesofilik dan termofilik) menguraikan MSW organik dalam kondisi bebas oksigen untuk menghasilkan biogas yang mengandung sekitar 55–75% metana (CH₄), 30–45% karbon dioksida (CO₂), 1–2% hidrogen sulfida (H₂S), 0–1% nitrogen (N₂), 0–1% hidrogen (H₂),

dan residu organik [18]. Secara umum proses anaerobik digestion terdiri dari 3 fase, yaitu fase hidrolisis enzimatis, pembentukan asam, and pembentukan gas (Kinasih et al. 2021). Sedangkan menurut Jain, S. et al., selama anaerob digester komponen utama sampah organik kota diubah melalui 4 reaksi hidrolisis, fermentasi, asetogenesis dan metanogenesis [19].

c. *Incineration*

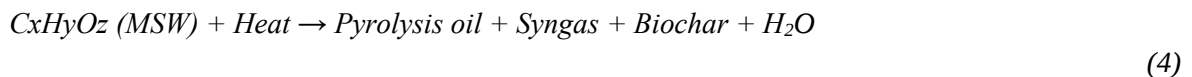
Insineration (incinerasi) atau pembakaran sampah adalah teknologi pengolahan sampah yang melibatkan pembakaran bahan organik. Sedangkan incinerator adalah alat yang digunakan untuk proses pembakaran. Amulen et al., melakukan simulasi menggunakan Aspen Hysis dan Aspen Plus untuk membakar 220.000 ton sampah kota per tahun dengan laju umpan 27 ton MSW per jam pada sebuah pabrik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa komposisi sampah sebagian besar bersifat organik dengan komposisi 80%. Nilai Pemanasan Bawah (Lower Heating Value) adalah 6,12 MJ/kg dengan kadar air 25%. Komposisi unsurnya adalah 43,47% Karbon, 5,52% Hidrogen, dan 41% Oksigen dengan tidak adanya Nitrogen dan Belerang, sedangkan kandungan abu sebesar 6,65% [20].

Pengolahan Secara Non-Konvensional

Pengolahan sampah secara non-konvensional tidak hanya mengolah sampah yang bersifat organik, tetapi bisa diaplikasikan untuk sampah anorganik. Pengolahan sampah menjadi energi dengan cara nonkonvensional bisa berupa pirolisis, gasifikasi dan oksidasi basah.

a. *Pyrolysis*

Pirolisis adalah proses perlakuan termokimia dimana sampah kota terdegradasi pada suhu sekitar 300–800 °C tanpa adanya oksigen atau udara untuk menghasilkan minyak pirolisis, syngas, dan padatan, melalui reaksi berikut [21]:



Proses pirolisis mampu mengubah sejumlah 84–88 wt% sampah kota menjadi produk gas (42–60%), minyak (26–42%), dan arang (12–16%). Distribusi bilangan karbon fraksi minyak berkisar antara C_5 sampai C_{20} dengan kandungan karbon hasil yang tinggi (74–91%). Hasil yang tinggi dari hidrokarbon aromatik (84,5%) diperoleh pada daya gelombang mikro 600 W dan 30 g suseptor. Fraksi arang kaya akan kandungan karbon (80–90% [22].

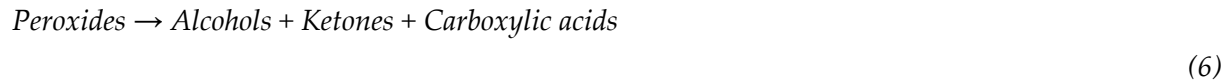
b. *Gasification*

Gasification adalah metode pengolahan limbah termokimia di mana sampah kota dipanaskan pada suhu tinggi yang berkisar antara 600–1700 °C dengan sejumlah oksigen, uap, atau udara yang terkontrol (yaitu seperlima hingga sepertiga dari oksidan teoretis) untuk menghasilkan syngas sebagai produk utama dan CO_2 sebagai produk minor.

c. *Wet Oxidation*

Wet oxidation adalah metode pengolahan limbah hidrotermal di mana campuran air MSW dipanaskan hingga suhu subkritis (~150–350 °C) dengan oksigen atau udara. Selama proses wet oxidation, sampah terdegradasi menjadi peroksida, alkohol, keton, dan asam karboksilat

(misalnya asam asetat dan asam organik lainnya) yang selanjutnya diubah menjadi CO₂, H₂O, dan abu [14] seperti yang terlihat pada persamaan berikut:



4. Kesimpulan

Dari studi literatur yang dilakukan dapat diketahui bahwa sampah tidak selalu menjadi sumber perusak lingkungan, tetapi sampah akan bisa menjadi sumber energi pengganti fossil fuel jika diolah dengan baik. Sampah kota baik organik maupun anorganik bisa diolah secara konvensional dan non konvensional untuk menghasilkan energi. Proses konvensional bisa dilakukan untuk sampah organik melalui proses composting, anaerob digestion dan incineration. Sedangkan proses nonkonvensional bisa dilakukan dengan cara pirolisis, gasifikasi dan oksidasi basah. Proses ini bisa dipilih untuk diaplikasikan di daerah masing-masing. Tentunya proses pemanfaatan dan pengolahan sampah ini akan lebih mudah jika dimulai dari kesadaran masing-masing individu untuk bersama-sama menciptakan lingkungan yang sehat.

Daftar Pustaka

- [1] OECD (2022), Municipal waste (indicator). [doi: 10.1787/89d5679a-en](https://doi.org/10.1787/89d5679a-en) (Accessed on 06 November 2022)
- [2] A. Kumar and S. R. Samadder, "A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste," *Waste Manag.*, vol. 69, pp. 407–422, 2017, [doi: 10.1016/j.wasman.2017.08.046](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.08.046).
- [3] Monice and Perinov. "Analisis Potensi Sampah Sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (Pltsa) Di Pekanbaru," *SainETIn*, vol. 1, no. 1, pp. 9–16, 2017, [doi: 10.31849/sainetin.v1i1.166](https://doi.org/10.31849/sainetin.v1i1.166).
- [4] S. K. Awasthi et al., "Processing of municipal solid waste resources for a circular economy in China: An overview," *Fuel*, vol. 317, no. February, p. 123478, 2022, [doi: 10.1016/j.fuel.2022.123478](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123478).
- [5] BP, "BP Statistical Review of World Energy 2022,(71st edition)," [online] London BP Stat. Rev. World Energy., pp. 1–60, 2022, [Online]. [Available: https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf](https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf).
- [6] J. J. Randolph, "A guide to writing the dissertation literature review," *Pract. Assessment, Res. Eval.*, vol. 14, no. 13, 2009.

- [7] Fang, Shiwen, et al. "Analysis of catalytic pyrolysis of municipal solid waste and paper sludge using TG-FTIR, Py-GC/MS and DAEM (distributed activation energy model)." *Energy* 143 (2018): 517-532. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.038>
- [8] Staśiek, Jan, and Marek Szkodo. "Thermochemical conversion of biomass and municipal waste into useful energy using advanced HiTAG/HiTSG technology." *Energies* 13.16 (2020): 4218. <https://doi.org/10.3390/en13164218>
- [9] H. E. Putra, E. Damanhuri, K. Dewi, and A. D. Pasek, "Hydrothermal treatment of municipal solid waste into coal-like fuel," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 483, no. 1, 2020, [doi: 10.1088/1755-1315/483/1/012021](https://doi.org/10.1088/1755-1315/483/1/012021).
- [10] J. Kleib, G. Aouad, N. E. Abriak, and M. Benzerzour, "Production of Portland cement clinker from French Municipal Solid Waste Incineration Bottom Ash," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 15, p. e00629, 2021, [doi: 10.1016/j.cscm.2021.e00629](https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00629).
- [11] H. Farouk, A. Lang, F. Tahir, and S. G. Al-Ghamdi, "Municipal solid waste: A potential source of clean energy for Khartoum State in Sudan," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 342–349, 2022, [doi: 10.1016/j.egyr.2022.05.145](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.145).
- [12] T. Resmianty, A. M. Fauzi, E. Hartulistiyoso, and S. Pertiwi, "Potential Utilization of Municipal Solid Waste in Landfill Mining TPST Bantargebang Bekasi to Become Refuse Derived Fuel (RDF) Feed Stock," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.*, vol. 12, no. 2, pp. 281–289, 2022, [doi: 10.29244/jpsl.12.2.281-289](https://doi.org/10.29244/jpsl.12.2.281-289).
- [13] S. Wang et al., "Renewable hydrogen production from the organic fraction of municipal solid waste through a novel carbon-negative process concept," *Energy*, vol. 252, 2022, [doi: 10.1016/j.energy.2022.124056](https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124056).
- [14] M. T. Munir, A. Mohaddespour, A. T. Nasr, and S. Carter, "Municipal solid waste-to-energy processing for a circular economy in New Zealand," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 145, no. April, p. 111080, 2021, [doi: 10.1016/j.rser.2021.111080](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111080).
- [15] Bernal MP, Alburquerque JA, Moral R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. *A review. Bioresour Technol* 2009;100:5444–53. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>
- [16] Klejment E, Rosiński M. Testing of thermal properties of compost from municipal waste with a view to using it as a renewable, low temperature heat source. *Bioresour Technol* 2008;99:8850–5. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.04.053>
- [17] Irvine, G., E. R. Lamont, and B. Antizar-Ladislao. "Energy from waste: reuse of compost heat as a source of renewable energy." *International Journal of Chemical Engineering* 2010 (2010). <https://doi.org/10.1155/2010/627930>
- [18] Hilkihah Igoni A, Ayotamuno MJ, Eze CL, Ogaji SOT, Probert SD. Designs of anaerobic digesters for producing biogas from municipal solid-waste. *Appl Energy* 2008;85:430–8. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2007.07.013>
- [19] Jain S, Jain S, Wolf IT, Lee J, Tong YW. A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;52:142–54. [DOI: 10.1016/j.rser.2015.07.091](https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.091)
- [20] J. Amulen, H. Kasedde, J. Serugunda, and J. D. Lwanyaga, "The potential of energy recovery from municipal solid waste in Kampala City, Uganda by incineration," *Energy Convers. Manag.* X, vol. 14, no. February, p. 100204, 2022, [doi: 10.1016/j.ecmx.2022.100204](https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2022.100204).

- [21] D. Chen, L. Yin, H. Wang, and P. He, "Pyrolysis technologies for municipal solid waste: A review," *Waste Manag.*, vol. 34, no. 12, pp. 2466–2486, 2014, [doi: 10.1016/j.wasman.2014.08.004](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.08.004).
- [22] D. V. Suriapparao, A. A. Gupta, G. Nagababu, T. H. Kumar, J. S. Sasikumar, and H. H. Choksi, "Production of aromatic hydrocarbons from microwave-assisted pyrolysis of municipal solid waste (MSW)," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 159, pp. 382–392, 2022, [doi: 10.1016/j.psep.2022.01.014](https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.01.014)