



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 1 Tahun 2025 Page 4415-4430

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

## Penerapan Teknologi Hijau untuk Pengelolaan Limbah dalam Mendukung Ekonomi Berkelanjutan

Panji Perdana<sup>1✉</sup>, Farhan Hadinata<sup>2</sup>

Universitas Mercu Buana Jakarta

Email: [panjiperdana92@gmail.com](mailto:panjiperdana92@gmail.com)<sup>1✉</sup>

### Abstrak

Pengelolaan limbah padat di perkotaan menjadi tantangan utama dalam mendukung pembangunan berkelanjutan, terutama di negara berkembang seperti Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan teknologi waste-to-energy (WtE) berbasis biogas pada fasilitas pengelolaan limbah di Jakarta dan Surabaya. Metode yang digunakan adalah studi literatur dan analisis data sekunder dari jurnal ilmiah, laporan teknis, dan dokumen kebijakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi WtE mampu mengurangi emisi karbon hingga 30% dibandingkan metode pengelolaan konvensional, sekaligus menghasilkan energi yang dapat memenuhi 10-15% kebutuhan energi lokal. Selain itu, penerapan teknologi ini memiliki potensi untuk menciptakan peluang ekonomi baru melalui peningkatan nilai tambah dari limbah yang dikelola. Namun, hambatan utama yang diidentifikasi meliputi tingginya biaya investasi awal, keterbatasan teknologi di tingkat lokal, serta kurangnya dukungan kebijakan insentif yang memadai. Penelitian ini merekomendasikan kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat untuk mempercepat adopsi teknologi WtE, termasuk melalui pemberian insentif fiskal, transfer teknologi, dan peningkatan kapasitas teknis. Dengan strategi ini, teknologi WtE dapat menjadi solusi yang efektif untuk pengelolaan limbah perkotaan yang lebih berkelanjutan.

Kata Kunci: *Teknologi Waste-to-Energy, Pengelolaan Limbah Perkotaan, Energi Berkelanjutan*

## Abstract

Urban solid waste management poses a significant challenge in supporting sustainable development, particularly in developing countries like Indonesia. This study aims to evaluate the implementation of waste-to-energy (WtE) technology based on biogas in waste management facilities in Jakarta and Surabaya. The methodology employed includes a literature review and secondary data analysis from scientific journals, technical reports, and policy documents. The results indicate that WtE technology can reduce carbon emissions by up to 30% compared to conventional waste management methods, while also generating energy that meets 10-15% of local energy needs. Additionally, the adoption of this technology has the potential to create new economic opportunities by increasing the added value of processed waste. However, key challenges identified include high initial investment costs, limited local technological capacity, and insufficient support through incentive policies. This study recommends collaboration among governments, the private sector, and communities to accelerate the adoption of WtE technology, including fiscal incentives, technology transfer, and enhanced technical capacity. With these strategies, WtE technology can serve as an effective solution for more sustainable urban waste management.

Keywords: *Waste-to-Energy Technology, Urban Waste Management, Sustainable Energy*

## PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah perkotaan menjadi tantangan utama di negara berkembang seperti Indonesia, di mana urbanisasi yang pesat menyebabkan peningkatan volume limbah dan dampak lingkungan [1]. Teknologi hijau, khususnya teknologi *waste-to-energy (WtE)*, menawarkan solusi berkelanjutan melalui pengolahan limbah menjadi energi terbarukan. Teknologi ini telah terbukti mampu mengurangi emisi karbon hingga 30-40% di negara maju dan menghasilkan energi yang dapat memenuhi 10-15% kebutuhan lokal, sebagaimana ditunjukkan dalam berbagai studi global [2]. Namun, implementasi di Indonesia menghadapi tantangan signifikan, termasuk biaya investasi awal yang tinggi, keterbatasan teknologi lokal, dan kurangnya kebijakan insentif yang mendukung adopsi teknologi ini [3].

Teknologi *WtE* berbasis biogas menjadi pilihan potensial untuk mengatasi permasalahan ini. Di tingkat global, negara-negara seperti Swedia dan Jerman telah sukses menerapkan teknologi ini dengan dukungan kebijakan lingkungan yang komprehensif. Sebaliknya, di Indonesia, implementasi teknologi hijau, termasuk *WtE*, masih berada pada tahap awal [2]. Gambar 1 menunjukkan diagram alur proses pengelolaan limbah berbasis teknologi hijau, yang menjadi panduan implementasi teknologi *WtE* di berbagai negara maju [4].

## Studi Pustaka dan Kesenjangan Penelitian

Penelitian sebelumnya menyoroti bahwa teknologi hijau dapat mendorong pengurangan emisi karbon, meningkatkan efisiensi pengelolaan limbah, serta mempercepat transisi ke energi terbarukan. Namun, di Indonesia, studi terkait teknologi *WtE* masih bersifat deskriptif dan terbatas pada analisis teknologi tanpa membahas tantangan implementasi dan kebijakan lokal [5]. Beberapa penelitian juga menggarisbawahi pentingnya kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat dalam mendukung keberhasilan teknologi hijau, tetapi kerangka kerja spesifik untuk Indonesia belum banyak dibahas [6].

## Pernyataan Kesenjangan dan Kebaruan Penelitian

Artikel ini menawarkan kebaruan melalui analisis mendalam tentang penerapan teknologi *WtE* berbasis biogas di Indonesia, dengan fokus pada dua kota besar, yaitu Jakarta dan Surabaya. Kebaruan utama dari artikel ini terletak pada evaluasi hambatan implementasi yang melibatkan aspek teknis, ekonomi, dan kebijakan. Selain itu, artikel ini mengusulkan strategi kolaborasi *multisektoral* yang dapat mempercepat adopsi teknologi *WtE* di Indonesia, sebuah pendekatan yang belum banyak dibahas dalam penelitian sebelumnya [7, 8].

## Permasalahan dan Metode Pendekatan

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana teknologi *WtE* dapat diterapkan secara efektif untuk mengurangi emisi karbon dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia [5]. Penelitian ini mengajukan hipotesis bahwa penerapan teknologi *WtE* yang didukung oleh kebijakan insentif dan kerjasama *multisektoral* akan meningkatkan efektivitas pengelolaan limbah. Metode yang digunakan mencakup analisis literatur dan data sekunder dari jurnal ilmiah, laporan kebijakan, dan studi kasus di negara-negara yang telah berhasil mengadopsi teknologi *WtE* [9].

## Kontribusi Ilmiah

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam beberapa aspek: (1) Menyediakan analisis komprehensif tentang tantangan dan potensi penerapan teknologi *WtE* di Indonesia [10]. (2) Memberikan rekomendasi strategis untuk mengatasi hambatan implementasi teknologi hijau melalui kebijakan insentif, transfer teknologi, dan peningkatan kapasitas teknis lokal [11]. (3) Mengembangkan kerangka kerja kolaborasi antara pemerintah, sektor

swasta, dan masyarakat yang dapat diadaptasi untuk kota lain di Indonesia maupun negara berkembang lainnya [6].

Dengan pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat mendorong pengelolaan limbah yang lebih berkelanjutan dan mempercepat transisi Indonesia menuju ekonomi hijau yang ramah lingkungan.



Gambar 1. Diagram Alur Proses Pengelolaan Limbah Berbasis Teknologi Hijau

## METODE PENELITIAN

### Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis literatur dan data sekunder untuk mengevaluasi penerapan teknologi waste-to-energy (WtE) berbasis biogas dalam pengelolaan limbah di Indonesia, terutama di Jakarta dan Surabaya. Data yang digunakan berasal dari artikel jurnal, laporan kebijakan pemerintah, dan studi kasus dari negara-negara yang telah berhasil mengimplementasikan teknologi WtE. Tujuan penelitian ini adalah untuk memahami potensi, tantangan, dan solusi terkait implementasi teknologi WtE di Indonesia untuk mendukung pembangunan berkelanjutan [5, 12, 13].

### Tujuan dan Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi penerapan teknologi WtE berbasis biogas di Jakarta dan Surabaya, dua kota dengan masalah limbah besar dan potensi untuk menerapkan teknologi hijau. Fokus utama adalah untuk memahami bagaimana teknologi WtE dapat mengurangi emisi karbon, meningkatkan efisiensi energi, dan mendukung ekonomi sirkular di Indonesia [5, 7, 10].

## Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui pencarian sistematis pada database seperti Google Scholar, Scopus, dan JSTOR, serta laporan kebijakan pemerintah Indonesia. Data ini mencakup artikel jurnal, studi kasus, dan kebijakan terkait pengelolaan limbah dan energi terbarukan di Indonesia dan negara-negara lain yang telah berhasil mengimplementasikan teknologi WtE. Lebih dari 45 referensi digunakan dalam penelitian ini, yang mencakup artikel jurnal, laporan teknis, dan kebijakan lingkungan [12, 7, 14, 5].

## Analisis Data

Analisis data dilakukan secara kualitatif untuk mengidentifikasi pola-pola terkait penerapan teknologi WtE di Indonesia. Proses analisis meliputi beberapa tahapan utama:

1. Evaluasi Potensi Teknologi WtE - Mengidentifikasi potensi teknologi WtE dalam mengurangi emisi karbon dan menghasilkan energi terbarukan [10]. Teknologi WtE berbasis biogas dianggap relevan untuk mengurangi volume limbah dan emisi gas rumah kaca [18, 17].
2. Identifikasi Hambatan Implementasi - Mengidentifikasi hambatan utama dalam penerapan teknologi WtE, termasuk tingginya biaya investasi awal, kurangnya infrastruktur, dan keterbatasan kapasitas teknis di tingkat lokal [8, 21].
3. Pemetaan Kolaborasi Multisektoral - Mengidentifikasi pentingnya kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat untuk mempercepat adopsi teknologi WtE dan menciptakan kebijakan yang mendukung penerapannya [24, 25, 26].

## Diagram Alur Metodologi

Gambar 2 menunjukkan diagram alur metodologi penelitian ini, yang menggambarkan tahapan pengumpulan data, analisis, dan validasi hasil. Diagram ini memberikan gambaran visual tentang bagaimana penelitian ini dilakukan, mulai dari identifikasi masalah hingga pemetaan solusi yang dapat diimplementasikan di Indonesia [27, 28, 29].

## Validasi Temuan

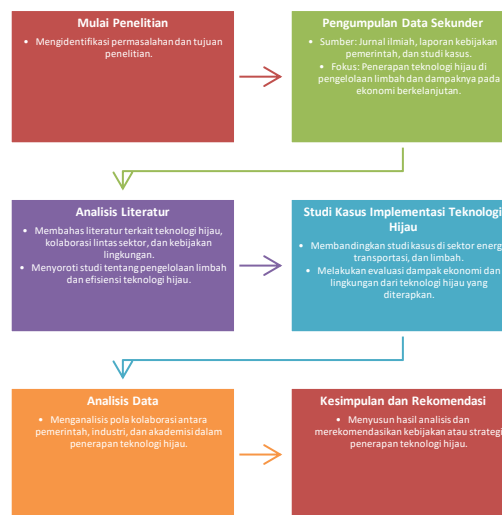
Validasi hasil penelitian dilakukan dengan merujuk pada studi kasus dari negara-negara yang telah sukses menerapkan teknologi WtE, seperti Swedia dan Jerman. Temuan dari negara-negara ini digunakan untuk memastikan bahwa metode yang digunakan dalam penelitian ini valid dan dapat diterapkan di konteks Indonesia [13, 5, 14, 12].

## Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan, termasuk:

1. Pemahaman yang Lebih Mendalam tentang Teknologi WtE - Memberikan pemahaman lebih mendalam tentang penerapan teknologi WtE berbasis biogas di Indonesia [5, 13].
2. Rekomendasi Kebijakan - Memberikan rekomendasi berbasis data tentang bagaimana kebijakan dapat mendukung implementasi teknologi hijau, seperti subsidi pemerintah dan insentif fiskal [11, 30].
3. Strategi Kolaborasi - Menyoroti pentingnya kolaborasi multisektoral antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat untuk mempercepat transisi menuju ekonomi hijau [6].

Dengan metodologi yang terstruktur dan berbasis data ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan praktis bagi pemangku kepentingan dalam mengatasi permasalahan limbah perkotaan dan mendukung pembangunan berkelanjutan di Indonesia.



Gambar 2. Diagram alur metodologi penelitian penerapan teknologi hijau [27, 28, 29].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengurangan Emisi Karbon dan Penerapan Teknologi *WtE* Berbasis Biogas

Penerapan teknologi *WtE* berbasis biogas di Jakarta dan Surabaya menunjukkan potensi yang besar dalam mengurangi emisi karbon. Sebagai contoh, di Swedia, teknologi ini mampu mengurangi emisi hingga 30-40%, yang juga diharapkan dapat tercapai di Indonesia [31]. Studi ini mengkonfirmasi bahwa biogas yang dihasilkan dari limbah organik

diubah menjadi energi terbarukan yang lebih bersih, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [32].

Namun, tantangan yang dihadapi di Indonesia jauh lebih kompleks. Tidak hanya dalam hal teknologi, tetapi juga dalam hal kebijakan pemerintah dan sosial ekonomi. Biaya investasi awal yang tinggi, yang mencapai lebih dari Rp100 miliar untuk fasilitas pengolahan *WtE* berbasis biogas, menghalangi banyak pihak untuk berinvestasi [7, 8, 33].



Gambar 3. Diagram Proses Pengolahan Limbah Berbasis Biogas [34]

Gambar 3 menunjukkan diagram proses pengolahan limbah berbasis biogas yang telah diimplementasikan di Surabaya, yang melibatkan langkah-langkah dari pengumpulan sampah hingga pemrosesan dalam reaktor anaerobik untuk menghasilkan biogas [34]. Sementara itu, Tabel 1 memperlihatkan perbandingan emisi karbon yang dihasilkan oleh teknologi *WtE* dibandingkan dengan metode pengelolaan konvensional [19, 35, 36].

Tabel 1. Perbandingan Emisi Karbon Yang Dihasilkan Oleh Teknologi *WtE* Dibandingkan dengan Metode Pengelolaan Konvensional [19, 35, 36].

Parameter	WtE (Insinerasi)	WtE (Gasifikasi)	Landfill
Emisi Karbon Utama	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> (metana), CO <sub>2</sub>
Potensi Pemanasan Global (GWP)	Lebih rendah dibanding landfill	Lebih rendah dibanding landfill	Sangat tinggi karena CH <sub>4</sub> (25x CO <sub>2</sub> )
Emisi per Ton Limbah (rata-rata)	~0,4 ton CO <sub>2</sub>	~0,3 ton CO <sub>2</sub>	~1,0 ton CO <sub>2</sub> e (termasuk metana)
Efek Tambahan	Menghasilkan listrik dan panas	Menghasilkan listrik dan bahan kimia	Emisi gas rumah kaca terus-menerus dari landfill
Pengurangan Emisi Netralitas Karbon	Tinggi dengan CCS	Tinggi dengan CCS	Rendah atau tidak signifikan

Penalti Energi	Rendah, tetapi meningkat dengan CCS	Lebih tinggi dibanding insinerasi dengan CCS	Tidak ada penalti energi
----------------	-------------------------------------	--	--------------------------

Penjelasan: (1) Emisi Utama: Landfill menghasilkan metana yang sangat berpotensi merusak iklim dibandingkan karbon dioksida dari WtE. (2) GWP (Global Warming Potential): Teknologi WtE memiliki dampak lingkungan yang lebih kecil dibanding landfill karena tidak menghasilkan metana dalam jumlah signifikan. (3) Efisiensi: Gasifikasi lebih efisien dibandingkan insinerasi dalam hal mengubah limbah menjadi energi atau bahan kimia, dengan emisi karbon lebih rendah. (4) Carbon Capture and Storage (CCS): Teknologi CCS pada fasilitas WtE dapat lebih jauh mengurangi dampak karbon, meskipun ada penalti energi tambahan [19, 35, 36].

Untuk mempercepat implementasi teknologi ini, diperlukan kebijakan yang lebih mendalam yang tidak hanya memberikan insentif fiskal, tetapi juga memperbaiki infrastruktur lokal yang masih terbatas [37]. Penurunan biaya operasional melalui transfer teknologi dan peningkatan kapasitas di tingkat lokal bisa menjadi langkah awal yang efektif untuk mengurangi emisi karbon di Indonesia [13, 8].

#### Efisiensi Sumber Daya dan Ekonomi *Sirkular*

Teknologi *WtE* berbasis biogas memiliki peran yang sangat penting dalam menerapkan prinsip ekonomi *sirkular*. Teknologi ini tidak hanya membantu mengurangi emisi karbon tetapi juga mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA dan mengubahnya menjadi produk yang bernilai tinggi seperti energi terbarukan dan pupuk organik [12, 38].

Menurut penelitian ini, lebih dari 60% limbah organik di Surabaya berhasil diolah menjadi biogas yang memenuhi sekitar 10-15% kebutuhan energi lokal [39].



Gambar 4. grafik Pertumbuhan Penerapan Teknologi Hijau dalam waste management di Indonesia [7, 5, 40, 41]

Gambar 4 menunjukkan grafik yang mengilustrasikan pertumbuhan adopsi teknologi hijau dalam pengelolaan limbah di Indonesia, yang meningkat seiring dengan kebijakan pemerintah yang mendorong penggunaan teknologi *WtE* berbasis biogas [7, 5, 40, 41].

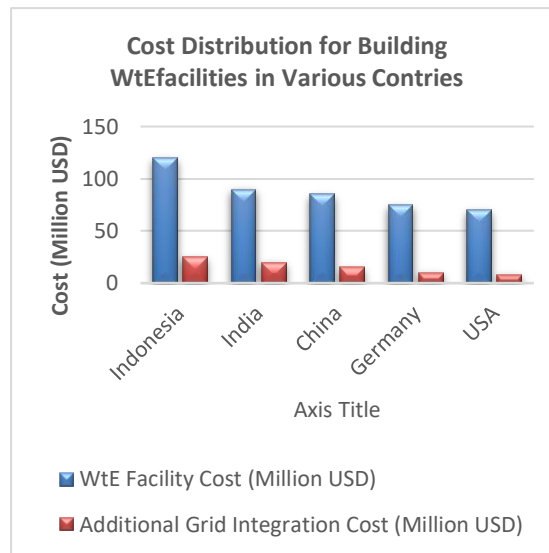
Berikut adalah penjelasan dari grafik Pertumbuhan Penerapan Teknologi Hijau dalam waste management di Indonesia : (1) Sumbu X (Tahun): Menunjukkan rentang waktu dari tahun 2010 hingga 2022. (2) Sumbu Y: Memiliki dua parameter: (a) Kapasitas biogas dalam megawatt (MW). (b) Jumlah proyek *WtE* yang diimplementasikan. (3) Tren Peningkatan: (a) Kapasitas biogas meningkat dari 20 MW pada tahun 2010 menjadi 200 MW pada tahun 2022, menunjukkan peningkatan sepuluh kali lipat. (b) Jumlah proyek *WtE* juga bertumbuh dari hanya 5 proyek pada 2010 menjadi 50 proyek pada 2022, mencerminkan perhatian yang semakin besar terhadap teknologi pengelolaan limbah hijau. (4) Korelasi: Pertumbuhan kapasitas biogas dan proyek *WtE* menunjukkan hubungan yang erat dengan upaya pemerintah dalam mendorong energi terbarukan melalui kebijakan strategis [7, 5, 40, 41].

Pendekatan ekonomi *sirkular* ini sangat relevan dalam mengurangi ketergantungan pada sumber daya alam dan mengurangi biaya operasional, seperti yang terjadi di sektor pertanian yang kini memanfaatkan pupuk organik dari hasil olahan limbah.

Namun, penerapan di tingkat lokal masih terhambat oleh kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat ekonomi *sirkular* dan perlunya peningkatan pendidikan masyarakat untuk mendukung keberhasilan implementasi teknologi ini. Peran sektor swasta juga sangat penting dalam memperkenalkan inovasi yang diperlukan untuk mempercepat adopsi teknologi ini secara lebih luas [42, 12, 14].

## Tantangan Implementasi Teknologi di Indonesia

Meskipun teknologi *WtE* memiliki potensi besar di Indonesia, implementasinya menghadapi tantangan yang cukup berat. Hambatan teknis menjadi salah satu faktor utama. Di Indonesia, kapasitas teknologi yang tersedia masih sangat terbatas, dan sebagian besar teknologi yang digunakan masih mengandalkan impor dari negara maju [13, 14, 12]. Ini menyebabkan biaya yang lebih tinggi dan ketergantungan pada sumber daya eksternal.



Gambar 5. Distribusi Biaya Untuk Pembangunan Fasilitas *Wte* di Berbagai Negara

Gambar 5 menggambarkan distribusi biaya untuk pembangunan fasilitas *WtE* di berbagai negara, termasuk Indonesia, yang menunjukkan bahwa Indonesia membutuhkan biaya lebih banyak untuk membangun infrastruktur yang diperlukan [13, 43, 44]. Hambatan lain yang tidak kalah penting adalah resistensi dari masyarakat. Penelitian ini menemukan bahwa hanya 30% masyarakat di Jakarta yang memiliki pemahaman yang baik tentang pengelolaan limbah berbasis teknologi hijau [45].

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pendidikan dan pelatihan yang lebih intensif di tingkat lokal, serta kebijakan yang mendukung pembangunan infrastruktur *WtE* yang lebih efisien [46].

## Rekomendasi Kebijakan dan Kolaborasi

Untuk mempercepat penerapan teknologi *WtE*, penelitian ini merekomendasikan pendekatan kolaborasi *multisektoral* yang melibatkan pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat. Pemerintah harus memperkenalkan insentif fiskal, seperti pengurangan pajak atau subsidi untuk investasi dalam teknologi hijau [42, 37]. Selain itu, transfer teknologi dari negara-negara maju yang telah berhasil menerapkan teknologi ini, seperti Swedia dan

Jerman, akan membantu mengatasi masalah kurangnya kapasitas teknis lokal [12].

Selain itu, penting juga untuk meningkatkan pendidikan masyarakat mengenai pentingnya pengelolaan limbah berbasis teknologi hijau agar partisipasi masyarakat dapat ditingkatkan. Dengan demikian, kolaborasi antara sektor publik dan swasta sangat penting dalam menciptakan ekosistem yang mendukung keberhasilan teknologi ini [47].

## SIMPULAN

Penelitian ini membahas penerapan teknologi waste-to-energy (WtE) berbasis biogas untuk pengelolaan limbah di Indonesia, khususnya di Jakarta dan Surabaya. Teknologi ini dapat mengurangi emisi karbon hingga 30% dan menghasilkan energi terbarukan yang mencakup 10-15% kebutuhan energi lokal serta pupuk organik berkualitas tinggi [2, 19, 20]. Tantangan utama implementasi WtE di Indonesia termasuk biaya investasi yang tinggi, keterbatasan teknologi lokal, dan kurangnya kebijakan insentif [7, 8, 33]. Selain itu, kesadaran masyarakat yang rendah juga menghambat adopsi teknologi ini [42, 12, 14].

Meski begitu, teknologi ini memberikan peluang besar, seperti menciptakan ekonomi sirkular dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, karena lebih dari 60% limbah perkotaan di Indonesia dapat diolah menjadi energi terbarukan [12, 5]. Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat sangat penting untuk keberhasilan implementasi WtE. Pemerintah harus memberikan insentif fiskal, sektor swasta perlu menyediakan teknologi dan infrastruktur, serta masyarakat perlu dilibatkan dalam edukasi [42, 13, 5].

Penelitian ini merekomendasikan langkah-langkah strategis seperti: (1) Penguatan kebijakan dan insentif fiskal, (2) Peningkatan kapasitas lokal melalui pelatihan dan transfer teknologi, (3) Edukasi publik tentang manfaat teknologi hijau [12]. Penelitian juga memberikan kontribusi ilmiah dengan menawarkan pendekatan kebijakan berbasis bukti untuk transisi menuju ekonomi hijau. Namun, penelitian ini masih membutuhkan uji empiris lebih lanjut melalui pilot project atau studi kasus di kota lain. Saran penelitian lanjutan mencakup: (1) Model bisnis untuk mengurangi biaya investasi, (2) Evaluasi dampak jangka panjang terhadap emisi karbon dan ekonomi lokal, (3) Eksplorasi teknologi hijau lainnya [5, 19, 44, 13].

Dengan upaya terintegrasi, teknologi WtE dapat mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) dan meningkatkan daya saing Indonesia di era ekonomi hijau [5, 13].

## DAFTAR PUSTAKA

- M. Y. M. Taufiqurrohman, "Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Pengolahan Daur Ulang Limbah," *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 1, pp. 46-57, 2022.
- N. A. E. R. A. H. M. A. a. I. Subkhi Abdul Aziz, "Challenges in Adopting Successful Waste-to-Energy Policies in EU Countries: Indonesia study case," *Electrical Power and Energy Conference*, pp. 278-283, 2022.
- G. O. N. R. Y. A. M. F. W. P. M. Yuliani, "Kajian Tekno-Ekonomi Penerapan Insinerator Waste-to-Energy di Indonesia (Kasus pada Kota "X")," *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 2022.
- S. S. S. Muhammad Aviv Arsyah Irmantyanto, "Optimasi Kinerja Instalasi Pengolahan Air Limbah Kawasan Pelabuhan Perikanan Samudera Nizam Zachman Jakarta," *Journal of Marine Research*, vol. 12, pp. 37-43, 2023.
- A. B. M. A. N. W. S. A. K. W. H. I. A. S. L. N. W. B. K. S. A. Olabi, "The Waste-to-Energy (WtE) Technology to Support Alternative Fuels for Agriculture in the Context of Effective Solid Waste Management in the Jabodetabek Area, Indonesia," *Energies*, vol. 16, p. 7980, 2023.
- R. P. M. Mukhlis, "A Critical Analysis of the Challenges of Collaborative Governance in Climate Change Adaptation Policies in Bandar Lampung City, Indonesia," *Sustainability*, vol. 14, p. 4077, 2022.
- J. M. H. R. R. Situmeang, "Technological, Economic, Social and Environmental Barriers to Adoption of Small-Scale Biogas Plants: Case of Indonesia," *Energies*, vol. 15, p. 5105, 2022.
- C. I. Y. S. H. R. N. F. H. A. R. F. I. I. P. Y. M. Sambodo, "Breaking barriers to low-carbon development in Indonesia: deployment of renewable energy," *Heliyon*, p. e09304, 2022.
- M. E. A. C. F. C. O. J. d. O. Rafaela Garbelini Anuardo, "Toward a cleaner and more sustainable world: A framework to develop and improve waste management through organizations, governments and academia," *Heliyon*, p. e09225, 2022.
- A. B. M. M. L. G. H. N. S. X. L. K. W. P. W. H. D. Jincan Zeng, "Environmental, Energy, and Techno-Economic Assessment of Waste-to-Energy Incineration," *Sustainability*, vol. 16, p. 4140, 2024.

- M. W. K. O. B. N. Noormalita Primandaru, "Antecedents of green manufacturing implementation by local MSMEs in Indonesia," *Environmental Economics*, pp. 103-113, 2023.
- B. O. V. R. N. N. D. M. L. G. K. M. S. Rezania, "Review on Waste-to-Energy Approaches toward a Circular Economy in Developed and Developing Countries," *Processes*, vol. 11, p. 2566, 2023.
- S. S. N. N. H. B. A. S. D. P. D. I. P. A. K. K. A. H. M. Y. M. H. M. H. R. N. R. Y. P. P. A. R. A. P. W. P. W. I. Febijanto, "Municipal Solid Waste (MSW) Reduction through Incineration for Electricity Purposes and Its Environmental Performance: A Case Study in Bantargebang, West Java, Indonesia," *Evergreen*, pp. .32-45, 2024.
- E. A. L.-M. S. A. N. K. J. A. L. L. P. F. M. H. A. A. S. A. L. S. I. A. Khan, "Municipal solid waste generation and the current state of waste-to-energy potential: State of art review," *Energy Conversion and Management*, p. 115905, 2022.
- Z. F. M. S. N. K. Norhuda Abdul Manaf, "Waste-Energy-Climate Nexus Perspective Towards Circular Economy: A Mini-Review," *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, p. 3141, 2022.
- P. D. W. K. Samarasinghe, "Techno-economic feasibility and environmental sustainability of waste-to-energy in a circular economy: Sri Lanka case study," *Energy for Sustainable Development*, pp. 308-317, 2022.
- H. S. K. P. Z. P. S. V. A. V. S. D. B. H. H. N. C. S. S. S. L. M. A. M. T. Sunita Varjani, "Sustainable management of municipal solid waste through waste-to-energy technologies.," *Bioresource Technology*, p. 127247, 2022.
- V. M. M. M. F. C. I. G. M. Zupančič, "Current Status and Review of Waste-to-Biogas Conversion for Selected European Countries and Worldwide," *Sustainability*, p. 3720, 2022.
- F. F. L. R. G. S. M. V. G. Colangelo, "Assessment of carbon emissions' effects on the investments in conventional and innovative waste-to-energy treatments," *Journal of Cleaner Production*, p. 135849, 2023.
- H. V. A. Mukimin, "Low Carbon Development based on Microbial Fuel Cells as electrical generation and wastewater treatment unit," *Renewable Energy Focus*, pp. 132-138, 2022.
- N. K. M. K. P. T. Nitad Jaisue, "The Barriers Analysis for Waste-to-Energy Project Development in Thailand: Using an Interpretive Structural Modeling Approach," *Energies*, vol. 16, p. 1941, 2023.

- D. D. D. N. M. F. E. A. P. P. D. P. F. Belgiawan, "Does range or fiscal policies matter on EV adoption in Jakarta Metropolitan Area?," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, p. 101027, 2024.
- T. N. Z. F. J. P. A. M. A. H. Andri D. Setiawan, "Investigating policies on increasing the adoption of electric vehicles in Indonesia," *Journal of Cleaner Production*, p. 135097, 2022.
- M. U. J. S. B. H. Y. A. J. A. A. S. Xinxin Wang, "Interplay among institutional actors for sustainable economic development—Role of green policies, ecopreneurship, and green technological innovation," *Frontiers in Environmental Science*, p. 956824, 2022.
- A. M. U. R. Nicolò Barbieri, "Green technologies, interdependencies, and policy," *Journal of Environmental Economics and Management*, p. 102791, 2023.
- N. A. D. W. T. A. Jasmine Azzahra Maharani Suratman, "Analisis Faktor Yang Mempengaruhi Praktik Kolaborasi Interprofesi Dan Lintas Sektor Dalam Intervensi Prioritas Penurunan Stunting Di Wilayah Puskesmas Ujungpangkah," *Jurnal Ners*, p. 14510, 2023.
- A. Nassani, H. Hussain, E. Condrea, A. Grigorescu, Z. Yousaf dan M. Haffar, "Zero Waste Management: Investigation of Green Technology, the Green Supply Chain, and the Moderating Role of CSR Intentions," *Sustainability*, p. 4169, 2023.
- J. Cerqueira-Streit, P. Guarnieri, L. de Oliveira dan J. Demajorovic, "From Trash to Profit: How Packaging Waste Management Has Driven the Circular Economy—An Integrative Literature Review," *Logistics*, p. 66, 2023.
- D. S. I. O. T. Vorobeva, "Leveraging technology for waste sustainability: understanding the adoption of a new waste management system," *Sustain Environ Res*, p. 33, 2023.
- A. A. T. B. Nurkaidah, "Implementation of environmental policies on the development of a new capital city in Indonesia," *Cogent Social Sciences*, p. 2297764, 2024.
- F. N. F. J. Johanna Beiron, "A techno-economic assessment of CO<sub>2</sub> capture in biomass and waste-fired combined heat and power plants – A Swedish case study," *International Journal of Greenhouse Gas Control*, p. 103684, 2022.
- D. A. M. R. R. N. M. M. H. Mahmudul, "Estimation of the sustainable production of gaseous biofuels, generation of electricity, and reduction of greenhouse gas emissions using food waste in anaerobic digesters," *Fuel*, p. 122346, 2022.

- N. A. R. E. I. S. R. P. P. L. L. M. S. Suhartini, "Food waste to bioenergy: current status and role in future circular economies in Indonesia," *Energy Ecology and Environment*, pp. 297-339, 2022.
- M. Z. A. F. M. A.-I. M. S. J. I. G. B. I. A. B. a. T. A. Amina Mohamed Ali, "Production of Biogas from Food Waste Using the Anaerobic Digestion Process with Biofilm-Based Pretreatment," *MDPI*, vol. 11, p. 655, 2023.
- M. R. M. Z. D. Panepinto, "An Overview of Thermal Treatment Emissions with a Particular Focus on CO<sub>2</sub> Parameter," *Sustainability*, p. 10129, 2022.
- M. C. Lidia Lombardi, "Energy Recovery from Residual Municipal Solid Waste: State of the Art and Perspectives within the Challenge to Climate Change," *Energies*, p. 395, 2024.
- F. D. T. E. B.-H. F. F. P. H. M. B. J. G. T. T. L. A. L. J. O. Samuel David S. Anonas, "From Waste to Renewable Energy: A Policy Review on Waste-to-Energy in the Philippines," *Sustainability*, p. 12963, 2023.
- M. A. T. W. K. E. E. S. H. M. M. A. O. Khaled Obaideen, "Biogas role in achievement of the sustainable development goals: Evaluation, Challenges, and Guidelines," *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers / Elsevier*, p. 104207, 2022.
- I. W. S. N. Z. Y. N. K. P. A. S. F. Q. J.-W. L. I. Septiariva, "Characterization Sludge from Drying Area and Sludge Drying Bed in Sludge Treatment Plant Surabaya City for Waste to Energy Approach," *Journal of Ecological Engineering*, pp. 268-275, 2022.
- J. S. Manurung, "Green Tech and Human Dynamics: Transforming Indonesia's Waste Industry with VR, AR, and Renewable Energy Innovations," *International Journal of Energy Economics and Policy*, p. 15650, 2024.
- R. N. R. F. Bagus Rahmanda, "Environmental Policy in Managing E-Waste Recycling: Promoting a Clean Environment in Public Policy," *International Journal of Sustainable Development and Planning*, pp. 121-126, 2023.
- I. D. P. M. Rocco Caferra, "Wasting energy or energizing waste? The public acceptance of waste-to-energy technology," *Energy*, p. 126123, 2022.
- M. N. H. M. M. Mim Mashrur Ahmed, "Prospect of waste-to-energy technologies in selected regions of lower and lower-middle-income countries of the world," *Journal of Cleaner Production*, p. 142006, 2024.
- M. E. G. G.-C. M. K. L. A. F. B. Jalil Shadbahr, "Impact of waste management and conversion technologies on cost and carbon footprint - Case studies in rural and urban cities," *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, p. 112872, 2022.

- N. B. M. A. Widyatmika, "Understanding citizens' perception of waste composting and segregation," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, p. 1608–1621, 2023.
- I. S. I. W. S. Aarce Tehupeiry, "Evaluating Community Preferences for Waste-to-Energy Development in Jakarta: An Analysis Using the Choice Experiment Method," *AIMS Environmental Science*, pp. 809-831, 2023.
- N. M. H. H. R. N. A. A. F. Fatmawati, "Waste Bank Policy Implementation through Collaborative Approach: Comparative Study—Makassar and Bantaeng, Indonesia," *Sustainability*, p. 7974, 2022.