

Kerangka Sinergi Kebijakan, Teknologi WtE, dan Prinsip ESG untuk Percepatan Bioenergi Sampah Perkotaan di Indonesia

Rudi Haryanto Simanjuntak^{1*}, Rienni Manihuruk¹, Mila Viendyasari², Mohammad Syukri¹,

¹Pasca Sarjana, Universitas Darma Persada, Jakarta, Indonesia

²Program Pendidikan Vokasi, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia

*Penulis Korespondensi: ruditanjungpiayu@gmail.com

Info Artikel

Diajukan: 10-02-2026

Diterima: 21-02-2026

Diterbitkan: 18-03-2026

Keywords:

Renewable energy; circular economy; waste management; sustainable investment; community empowerment; national energy policy.

Kata Kunci:

Energi terbarukan; ekonomi sirkular; pengelolaan sampah; investasi berkelanjutan; pemberdayaan masyarakat; kebijakan energi nasional.



Lisensi: cc-by-sa

Copyright © 2026 Rudi Haryanto Simanjuntak, Rienni Manihuruk, Mila Viendyasari, Mohammad Syukri.

Abstract

The transition to a low-carbon energy system in Indonesia requires the integration of policies, appropriate conversion technologies, and sustainable financing mechanisms. Municipal solid waste is a strategic bioenergy resource due to its high volume and significant organic content, but the implementation of Waste-to-Energy projects is hampered by a lack of synergy linking policy, technology, and investment aspects. This study aims to formulate a tri-pillar synergy framework between national energy policy, Waste-to-Energy technology suitability, and Sustainable Investment principles (Environmental, Social, and Governance) to overcome these obstacles and accelerate the development of waste-based bioenergy. This study uses a conceptual approach through a comprehensive literature synthesis related to energy regulations, waste management policies, and empirical studies of Waste-to-Energy. The resulting synergy framework identifies that project success is highly dependent on tying price guarantees through policies with social acceptance and risk mitigation through Sustainable Investment principles, which then validates the selection of technologies that are appropriate to the characteristics of local waste in Indonesia. This framework provides a practical contribution in the form of a roadmap for stakeholders in realizing projects that are financially viable, environmentally sustainable, and socially acceptable, while supporting the achievement of renewable energy targets and Sustainable Development Goals in Indonesia.

Abstrak

Transisi menuju sistem energi rendah karbon di Indonesia memerlukan integrasi kebijakan, teknologi konversi yang tepat, dan mekanisme pembiayaan yang berkelanjutan. Sampah padat perkotaan merupakan sumber daya bioenergi yang strategis karena volume yang tinggi dan kandungan organik yang signifikan, namun implementasi proyek Waste-to-Energy terhambat oleh kurangnya sinergi yang mengikat aspek kebijakan, teknologi, dan investasi. Studi ini bertujuan merumuskan kerangka sinergi tri-pilar antara kebijakan energi nasional, kesesuaian teknologi Waste-to-Energy, dan prinsip Investasi Berkelanjutan (Environmental, Social, and Governance) untuk mengatasi hambatan tersebut dan mempercepat pengembangan bioenergi berbasis sampah. Penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual melalui sintesis literatur komprehensif terkait regulasi energi, kebijakan pengelolaan sampah, dan studi empiris Waste-to-Energy. Kerangka sinergi yang dihasilkan mengidentifikasi bahwa keberhasilan proyek sangat bergantung pada pengikatan jaminan harga melalui kebijakan dengan penerimaan sosial dan mitigasi risiko melalui prinsip Investasi Berkelanjutan, yang kemudian memvalidasi pemilihan teknologi yang sesuai dengan karakteristik sampah lokal Indonesia. Kerangka ini memberikan kontribusi

praktis berupa peta jalan bagi pemangku kepentingan dalam mewujudkan proyek yang layak secara finansial, berkelanjutan secara lingkungan, dan diterima secara sosial, sekaligus mendukung pencapaian target energi terbarukan dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia.

Cara mensitasi artikel:

Rudi Haryanto Simanjuntak, Rienni Manihuruk, Mila Viendyasari, Mohammad Syukri. (2026). Kerangka Sinergi Kebijakan, Teknologi WtE, dan Prinsip ESG untuk Percepatan Bioenergi Sampah Perkotaan di Indonesia. *Journal of Empowerment Community*, 8(1),96–112. <https://doi.org/10.36423/jec.v8i1.2684>

PENDAHULUAN

Dunia saat ini berada pada titik kritis dalam upaya mitigasi krisis iklim, yang menuntut transisi cepat menuju sistem energi rendah karbon. Komitmen global untuk mencapai emisi nol bersih (net zero emission) telah mendorong setiap negara, termasuk Indonesia, untuk memprioritaskan pengembangan energi terbarukan sebagai komponen kunci dalam strategi energi nasional. Bioenergi, yang berasal dari biomassa organik, memegang peran penting dalam transisi ini karena kemampuannya menyediakan energi yang dapat diandalkan (dispatchable) sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Ishaq et al., 2022; Lin & Xie, 2025; Lou et al., 2025). Di Indonesia, potensi sumber daya biomassa tersebar luas, menjadikan diversifikasi sumber energi terbarukan, termasuk melalui pemanfaatan sampah padat, sebagai mandat strategis yang tertuang dalam Kebijakan Energi Nasional (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017; Sugiyono et al., 2022).

Di tengah upaya transisi energi, Indonesia menghadapi tantangan lingkungan yang akut terkait pengelolaan sampah padat perkotaan (SPP). Urbanisasi yang pesat dan perubahan pola konsumsi telah menyebabkan peningkatan volume sampah secara eksponensial, di mana sebagian besar berakhir di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang kapasitasnya semakin kritis. SPP, dengan fraksi organik yang tinggi, tidak hanya menciptakan masalah pencemaran lingkungan (tanah, air, dan emisi metana) tetapi juga merepresentasikan potensi sumber daya energi yang terabaikan (Rimantho et al., 2022; Soleh et al., 2020). Pemanfaatan sampah melalui teknologi Waste-to-Energy (WtE) menawarkan solusi ganda: mengurangi volume sampah secara drastis sekaligus menghasilkan energi terbarukan. Oleh karena itu, Waste-to-Energy dipandang sebagai jembatan penting yang menghubungkan permasalahan lingkungan (sampah) dengan kebutuhan strategis energi nasional (Efstratios, 2017; Bhatsada et al., 2023).

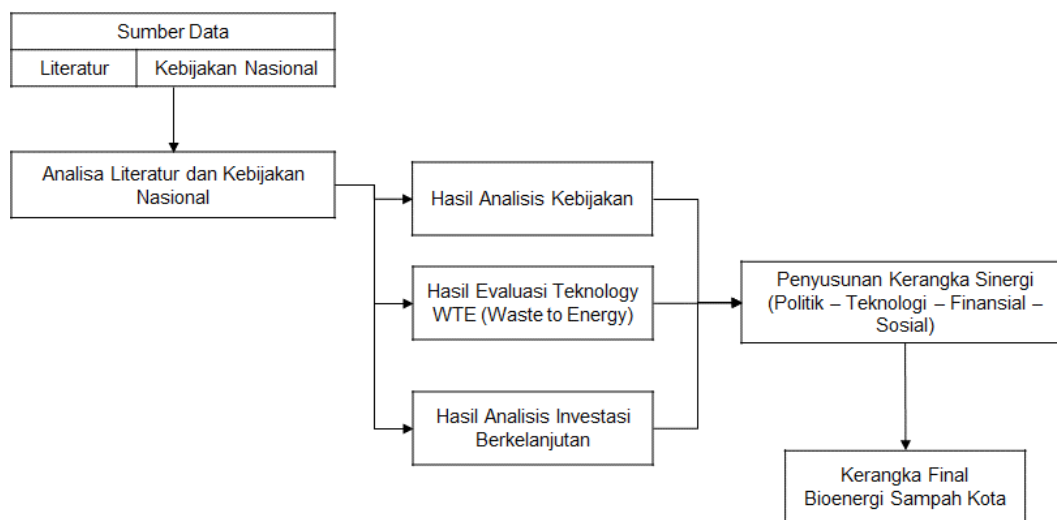
Studi-studi sebelumnya telah banyak membahas ketiga pilar kunci dalam implementasi WtE. Penelitian berfokus pada analisis kebijakan menekankan pentingnya jaminan harga listrik (feed-in tariff) atau tipping fee yang stabil untuk menarik investasi (Yan et al., 2023; Tirta, 2023). Sementara itu, tinjauan teknologi menyoroti perlunya penyesuaian teknologi konversi (seperti insinerasi, gasifikasi, atau Anaerobic Digestion) dengan karakteristik spesifik sampah Indonesia yang tinggi kelembaban (Wikurendra et al., 2024a; Prihandoko et al., 2022). Pilar ketiga, Investasi Berkelanjutan, mulai menjadi fokus, di mana penerapan prinsip Environmental, Social, and Governance (ESG) diidentifikasi sebagai katalisator pembiayaan hijau, yang mampu memitigasi risiko lingkungan dan sosial (Tiwari et al., 2024; Muhammad & Hoffmann, 2024; Bulkot et al., 2023). Namun, sebagian besar literatur masih cenderung membahas pilar-pilar ini secara terisolasi.

Meskipun setiap pilar (Kebijakan, Teknologi, dan Investasi Berkelanjutan) telah diteliti secara ekstensif, keberhasilan implementasi proyek WtE skala besar di Indonesia masih terhambat oleh kesenjangan sinergi antara ketiganya. Penelitian sebelumnya belum menyajikan model terpadu yang secara eksplisit menunjukkan bagaimana kebijakan harga dapat menarik Investasi ESG, dan bagaimana Investasi ini kemudian menuntut pemilihan teknologi yang paling bertanggung jawab secara lingkungan dan sosial (Ozili & Opene, 2021; Lou et al., 2025; Lin & Xie, 2025). Kebaruan (Novelty) dari penelitian ini terletak pada perumusan Kerangka Sinergi Tri-Pilar yang mengikat secara sistematis aspek Kebijakan, Teknologi WtE, dan Prinsip ESG dalam satu model holistik (Kementerian PPN/Bappenas, 2024; Rudi Haryanto Simanjuntak et al., 2025). Berdasarkan kesenjangan ini, tujuan penelitian ini adalah untuk merumuskan Kerangka Sinergi Kebijakan, Teknologi Waste-to-Energy, dan Investasi Berkelanjutan untuk mempercepat pengembangan Bioenergi Berbasis Sampah Perkotaan di Indonesia.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan konseptual-kualitatif yang fokus pada kebijakan integrasi, teknologi konversi, serta investasi berkelanjutan dalam pengembangan bioenergi berbasis sampah perkotaan di Indonesia. Desain penelitian yang dipilih bertujuan untuk menghasilkan pemahaman terstruktur mengenai hubungan antaraktor dan antarvariabel dalam sistem energi terbarukan, khususnya pada pemanfaatan biomassa sampah kota sebagai sumber bioenergi (Ishaq et al., 2022; Lou et al., 2025; Sugiyono et al., 2022). Karena penelitian ini tidak menggunakan data primer, metode berfokus pada sintesis literatur akademis, regulasi nasional, dan studi empiris dari proyek-proyek limbah-menjadi-energi yang telah berjalan di Indonesia maupun internasional (Soleh et al., 2020; Wikurendra et al., 2024a).

Secara ringkas, alur penelitian ini dimulai dari studi literatur dan kebijakan nasional, dilanjutkan dengan analisis kebijakan, evaluasi teknologi, serta kajian investasi berkelanjutan. Proses tersebut berujung pada penyusunan model sinergi lintas sektor yang menghasilkan kerangka konseptual pengembangan bioenergi perkotaan berbasis ekonomi sirkular dan pemberdayaan masyarakat (Anbumozhi & Kimura, 2018; Irawan et al., 2024; Rimantho et al., 2022).



Gambar 1. Flow Proses Penelitian

Sumber Data: Literatur dan Kebijakan Nasional

Literatur ilmiah global dan nasional mencakup penelitian terkait Renewable & Sustainable Energy Review, Biomass & Bioenergy, Waste Management Waste-to-Energy (WtE), refuse-derived fuel (RDF), dan green investment sebagai instrumen pembiayaan transisi energi. Berbagai jurnal energi dan lingkungan digunakan untuk memperoleh pemahaman mendalam terkait karakteristik sampah perkotaan, teknologi konversi bioenergi (pencernaan anaerobik, RDF, gasifikasi, dan pirolisis), serta kajian mengenai ekonomi sirkular dan pembiayaan hijau (Bhatsada et al., 2023; Yan et al., 2023; Efstratios, 2017).

Dokumen kebijakan nasional dan regulasi energi, termasuk Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), PP No. 40 Tahun 2025 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), serta Permen ESDM No. 8 Tahun 2025 terkait Manajemen Energi, dijadikan pijakan untuk menganalisis arah kebijakan pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2025; Kementerian PPN/Bappenas, 2025b). Laporan teknis dan studi kasus seperti RDF Cilacap, TPST Bantargebang, dan PLTSa Surabaya digunakan untuk memvalidasi temuan literatur serta memberikan konteks empiris bagi analisis kerangka (Prihandoko et al., 2022; Soleh et al., 2020).

Tabel 1. Regulasi Energi yang Mendukung Bioenergi Sampah Kota

Regulasi	Kata Kunci Kebijakan	Relevansi ke Bioenergi Sampah Kota
PP No. 40 Tahun 2025 KEN	KEN, RUEN, RUED, target EBT	Menetapkan insentif fiskal bagi penyedia energi dan pengguna energi dalam kegiatan penyediaan, pemanfaatan, pengembangan EBT (energi baru dan terbarukan) dan energi tak-terbarukan.
PP 33/2023 Konservasi Energi	Konservasi energi, efisiensi, audit, manajemen energi	Bioenergi sebagai bagian dari peningkatan efisiensi dan pemanfaatan energi berkelanjutan
Perpres 22/2017 RUEN	RUEN, bauran energi, target EBT	Bioenergi MSW mendukung target nasional 23% EBT 2025
Permen ESDM 8/2025 Manajemen Energi	Manajemen energi, M&V (Measurement and Verification), SEU (Significant Energy Use)	Pengelolaan energi fasilitas WtE wajib mengikuti standar manajemen energi
Permen ESDM 3/2025 Konservasi Energi oleh Pemerintah dan Pemda	Peran Pemda, konservasi energi	Pemda wajib mendorong WtE sebagai bagian program konservasi
RUEN Lampiran I & II	Strategi EBT, potensi bioenergi	Penguatan konteks potensi bioenergi berbasis sampah
Perpres 12/2025 RPJMN	Green economy, circular economy	Menjadi argumen kuat untuk investasi dan sinergi lintas sektor

Analisa Literatur dan Kebijakan Nasional

Analisis kebijakan dilakukan untuk mengidentifikasi keselarasan, tumpang tindih, atau celah antarregulasi terkait energi dan persampahan, serta menilai faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan penerapan bioenergi. Pendekatan *policy synthesis* dan *qualitative thematic analysis* digunakan untuk menghubungkan temuan ilmiah dengan arah kebijakan nasional (Tiwari et al., 2024; Lou et al., 2025; Kementerian PPN/Bappenas, 2025a). Analisis difokuskan pada peta kebijakan konservasi energi (Permen ESDM No. 3/2025 & No. 8/2025) serta peta jalan pembangunan hijau (Bappenas, 2025). Hasil analisis menunjukkan perlunya *policy coherence* lintas instansi dan integrasi kebijakan investasi hijau dalam implementasi ekonomi sirkular di Indonesia (Ozili & Opene, 2021; Lin & Xie, 2025).

Hasil Analisis Kebijakan

Dari hasil analisis kebijakan ditemukan bahwa meskipun pemerintah telah memiliki kerangka regulatif yang kuat — seperti kebijakan nilai ekonomi karbon (Perpres No. 98/2021) dan rencana konservasi energi (PP No. 33/2023) — sinergi lintas sektor masih menghadapi hambatan koordinasi dan tumpang tindih mandat antarinstansi. Lemahnya integrasi kebijakan *circular economy* di perkotaan Indonesia menegaskan perlunya penyelarasan vertikal antara kebijakan pusat dan daerah (Tiwari et al., 2024; Anbumozhi & Kimura, 2018; Kementerian PPN/Bappenas, 2024). Dengan demikian, kebijakan energi nasional harus mendorong investasi energi terbarukan yang inklusif dan berorientasi pada hasil.

Hasil Evaluasi Teknologi – Waste-to-Energy (WTE)

Potensi bisnis daur ulang sampah kota sebagai solusi terhadap meningkatnya volume sampah di wilayah perkotaan Indonesia semakin relevan di tengah urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan penduduk yang tinggi. Pemerintah telah menerapkan berbagai strategi seperti 3R (Reduce, Reuse, Recycle) dan Waste-to-Energy (WtE), namun capaian pengelolaan masih belum maksimal (Soleh et al., 2020; Rimantho et al., 2022; Wikurendra et al., 2024a). Data menunjukkan bahwa hanya sekitar 49,9% sampah yang berhasil dikelola melalui pendekatan 3R dan 12,37% melalui WtE. Sisanya, sekitar 37,73%, masih belum tertangani secara optimal. Kondisi ini memberikan peluang besar bagi pengembangan sektor bisnis daur ulang sampah kota yang tidak hanya membantu mengurangi volume sampah, tetapi juga berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang ramah lingkungan (Bhatsada et al., 2023; Efstratios, 2017).

Bisnis daur ulang sampah menawarkan peluang ekonomi melalui pemanfaatan teknologi pengolahan sampah menjadi energi terbarukan. Selain itu, peluang usaha seperti bank sampah elektronik, daur ulang plastik, dan pengolahan sampah organik menjadi fokus inovatif dalam mendukung ekonomi sirkular nasional (Rimantho et al., 2022; Anbumozhi & Kimura, 2018). Namun, tantangan seperti minimnya infrastruktur, rendahnya partisipasi publik, dan belum optimalnya regulasi masih menjadi hambatan (Yosiana & Handayani, 2024; Kementerian PPN/Bappenas, 2024). Integrasi konsep ekonomi sirkular dan digitalisasi juga diulas sebagai pendekatan inovatif untuk mengatasi masalah ini secara berkelanjutan, mengevaluasi teknologi konversi energi (bioenergi) dengan cara membandingkan parameter teknis, potensi energi, efisiensi, kesiapan pasar, serta kesesuaian dengan karakter sampah perkotaan yang memiliki kadar organik tinggi dan kelembaban besar (Irawan et al., 2024; Sugiyono et al., 2022).

Dalam konteks Indonesia, potensi biomassa dan sampah organik sebagai feedstock energi terbarukan belum dimanfaatkan optimal (Krystallyn Gracela Angeline, 2024; Prihandoko et al., 2022). Posisi Indonesia dalam peta global Waste-to-Energy (WtE) menunjukkan potensi yang besar namun masih berada pada tahap pengembangan awal dibandingkan negara maju di Eropa dan Asia Timur (Efstratios, 2017; Zhao et al., 2016). Berbagai inisiatif nasional telah mulai mengarah pada pemanfaatan Refuse-Derived Fuel (RDF) dan teknologi WtE skala kota, seperti proyek RDF di Cilacap, Piyungan (Yogyakarta), dan Surabaya (Prihandoko et al., 2022; Kementerian ESDM, 2025). Kebijakan pemerintah seperti Perpres No. 112 Tahun 2022, UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, serta RUPTL 2025–2034 menegaskan arah strategis menuju integrasi WtE dalam bauran energi nasional (Keputusan Menteri ESDM, 2025; Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2025).

Namun, tantangan utama masih mencakup aspek pendanaan, infrastruktur pengumpulan sampah terpilah, dan kepastian skema harga listrik (feed-in tariff) untuk proyek WtE (Yan et al., 2023; Lou et al., 2025). Dengan sinergi lintas sektor antara pemerintah, industri semen, lembaga keuangan hijau, dan komunitas lokal, Indonesia memiliki peluang besar untuk membangun ekosistem ekonomi sirkular yang menjadikan sampah sebagai sumber energi terbarukan (Tiwari et al., 2024; Lin & Xie, 2025; Muhammad & Hoffmann, 2024). Hal ini sejalan dengan komitmen nasional dalam mendukung pencapaian SDG 7 (Energi Bersih), SDG 11 (Kota Berkelanjutan), dan SDG 13 (Aksi Iklim) (Publications, 1992; Kementerian PPN/Bappenas, 2025b).

Tabel 2 menunjukkan perkembangan dan keragaman penerapan teknologi waste-to-energy (WtE) di berbagai negara, yang mencerminkan tingkat kematangan kebijakan, infrastruktur, dan inovasi teknologi di tiap wilayah. Negara-negara seperti Austria, Swedia, dan Jepang telah mencapai efisiensi tinggi melalui sistem incineration dan CHP (Combined Heat and Power) yang terintegrasi dengan district heating, sehingga tidak hanya menghasilkan listrik tetapi juga panas untuk kebutuhan kota. Sementara itu, negara Asia seperti Korea Selatan, Tiongkok, dan Singapura berhasil mengembangkan fasilitas WtE skala besar dengan efisiensi tinggi dan manajemen emisi yang ketat. Di kawasan ASEAN, Malaysia, Filipina, Vietnam, dan Thailand mulai mengadopsi teknologi mass-burn, gasification, dan RDF co-generation dengan dukungan kebijakan nasional dan investasi publik-swasta. Indonesia sendiri masih berada pada tahap pengembangan dan percontohan, seperti proyek RDF Cilacap, PLTSa Surabaya, dan RDF Plant Piyungan, yang menunjukkan langkah maju dalam implementasi ekonomi sirkular dan energi terbarukan. Namun, tantangan signifikan masih dihadapi, antara lain keterbatasan pembiayaan hijau, kendala perizinan lingkungan, kurangnya infrastruktur pemilahan sampah di sumber, serta ketergantungan pada dukungan kebijakan yang belum konsisten. Dibandingkan dengan negara tetangga seperti Singapura dan Vietnam yang memiliki kerangka hukum dan investasi yang lebih matang, Indonesia perlu memperkuat sinergi lintas sektor—antara pemerintah, swasta, lembaga keuangan, dan masyarakat—agar proyek WtE dapat bertransformasi dari pilot project menjadi solusi energi berkelanjutan yang terintegrasi dengan target SDGs 7, 11, dan 13.

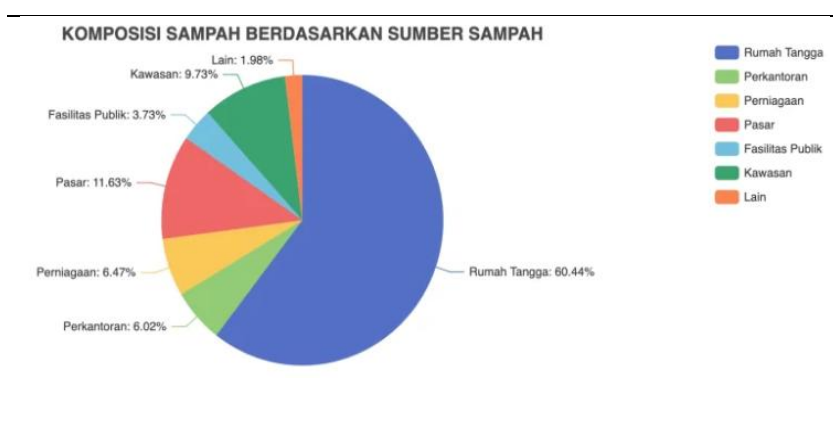
Tabel 2. Berbagai proyek *waste-to-energy (WtE)* di dunia

No.	Negara / Kota	Jenis Teknologi WtE	Material / Bahan Baku	Tahun Beroperasi	Kapasitas Listrik (MW)	Keterangan / Detail Tambahan
1	Spittelau, Austria	Incineration (Mass-burn)	Sampah rumah tangga (MSW)	1971 (modernisasi 1992)	6 MWe, 60 MWth	Efisiensi termal tinggi; sistem district heating.
2	Minneapolis, AS	Refuse-derived fuel (RDF)	RDF dari sampah kota	1989	25 MWe	Mengurangi 365.000-ton sampah/tahun; efisiensi listrik 21%.
3	London, Inggris	Grate combustion CHP	Sampah rumah tangga dan komersial	1994	35 MWe	Beroperasi di kawasan urban padat; pengelolaan emisi ketat.
4	Seoul, Korea Selatan	Incineration CHP	MSW	1997	40 MWe	Mendukung district heating; efisiensi energi tinggi.
5	Brescia, Italia	Fluidized bed incineration	Sampah perkotaan	1998	85 MWe	Operasi multi-unit; efisiensi total >80%; integrasi district heating.
6	Malmö, Swedia	Combined Heat and Power (CHP) incineration	Sampah domestik dan industri	2003	50 MWe, 250 MWth	Berkontribusi besar terhadap pemanasan kota; emisi CO ₂ rendah.
7	Tokyo, Jepang	Gasification-melting	Sampah domestik	2001	32 MWe	Produksi slag yang dapat digunakan kembali; teknologi termal canggih
8	Shanghai, Tiongkok	Stoker-type incinerator	Sampah rumah tangga	2005	50 MWe	Proyek pionir WtE di Tiongkok; bagian dari strategi <i>zero landfill</i> .
9	Indonesia – Cilacap (Jawa Tengah)	<i>Refuse-Derived Fuel (RDF)</i>	Sampah rumah tangga dan industri	2020	±8 MW (setara bahan bakar substitusi semen)	Proyek percontohan RDF pertama di Indonesia; kerja sama Pemda Cilacap, Kementerian ESDM, dan PT SBI; mendukung target EBT nasional dan pengurangan sampah ke TPA.
10	Indonesia – Surabaya (Jawa Timur)	<i>Incineration (Pilot WtE Plant)</i>	Sampah perkotaan (MSW)	2021	±11 MW (rencana)	Didukung oleh Perpres No. 35/2018 tentang percepatan pembangunan PLTSa; proyek didanai APBD dan swasta; kendala utama pada perizinan lingkungan.
11	Indonesia – Piyungan (DIY Yogyakarta)	<i>RDF Plant</i>	Sampah campuran kota	2023 (operasional penuh)	±6 MW (ekuivalen energi)	Dikelola bersama pemerintah daerah dan swasta; mendukung implementasi circular economy dan pengurangan beban TPA.

12	Malaysia – Kuala Lumpur	<i>Mass-burn incineration</i>	Sampah rumah tangga dan organik	2022	±10 MW	Proyek di bawah <i>National Solid Waste Management Department</i> ; teknologi Jepang
13	Malaysia – Langkawi (Pilot Plant)	<i>Gasification & Pyrolysis</i>	Sampah organik dan plastik	2019	±1 MW	Didukung oleh MOSTI dan SIRIM
14	Singapore (Tuas South)	<i>Mass-burn incineration (CHP)</i>	Sampah rumah tangga (MSW)	2000	80 MWe	Salah satu plant WtE terbesar di Asia Tenggara; mengolah >3.000 ton/hari. Efisiensi tinggi
15	Filipina – Davao RDF Facility	<i>Refuse-Derived Fuel</i>	Sampah campuran kota	2021	±4 MW ekuivalen	Bekerja sama dengan Holcim dan pemerintah lokal;
16	Vietnam – Hanoi Nam Son Plant	<i>Incineration with Power Generation</i>	MSW	2021	75 MWe	Salah satu proyek WtE terbesar di Asia Tenggara; kerja sama dengan China Energy.
17	Bangkok, Thailand	RDF and biogas co-generation	Sampah organik dan residu padat	2016	9.8 MWe	Proyek kolaboratif pemerintah dan swasta; mendukung target EBT nasional; efisiensi tinggi.

Grafik 1 menunjukkan bahwa sumber utama timbulan sampah di Indonesia didominasi oleh sektor rumah tangga. Data ini menegaskan bahwa pengelolaan sampah rumah tangga merupakan kunci utama dalam strategi nasional pengurangan timbulan sampah dan implementasi ekonomi sirkular. Optimalisasi pemilahan di sumber, edukasi masyarakat, serta integrasi sistem waste-to-energy (WtE) di tingkat kota menjadi langkah strategis untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah dan mendukung pencapaian target energi terbarukan serta tujuan pembangunan berkelanjutan (SDG 11 dan SDG 12).

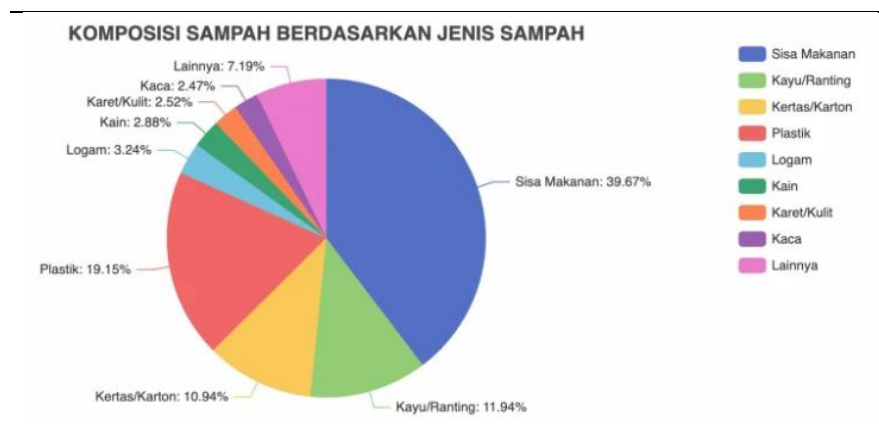
Grafik 1. Komposisi Sampah Berdasarkan Sumber Sampah



Sumber infografis: SIPSN 2023

Grafik 2 menunjukkan bahwa komposisi sampah di Indonesia Data ini menegaskan bahwa sebagian besar sampah yang dihasilkan bersifat organik dan berpotensi besar untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku energi terbarukan, seperti biogas atau Refuse-Derived Fuel (RDF). Oleh karena itu, strategi pengelolaan sampah nasional perlu difokuskan pada pengolahan limbah organik dan plastik melalui penerapan teknologi waste-to-energy (WtE) serta penerapan ekonomi sirkular guna mengurangi timbulan sampah dan mendukung pencapaian target Sustainable Development Goals (SDG) 7, 11, dan 12.

Grafik 2. Komposisi Sampah Berdasarkan Jenis Sampah



Sumber infografis: SIPSN 2023

Apabila sampah tidak dikelola dengan baik, maka akan mencemari lingkungan melalui polusi udara, tanah, dan air. Daur ulang sampah menjadi energi terbarukan dapat mengurangi dampak negatif tersebut, serta menghasilkan energi dalam bentuk biogas atau listrik dari teknologi Waste-to-Energy (WTE). Selain itu, proses ini juga dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Berbagai teknologi telah dikembangkan untuk mengolah sampah menjadi sumber energi yang bermanfaat. Teknologi-teknologi ini tidak hanya berfungsi untuk mengurangi volume sampah, tetapi juga mampu menghasilkan energi yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai kebutuhan. Pemilihan teknologi yang tepat harus mempertimbangkan aspek teknis, biaya, serta dampak lingkungannya.

Berikut adalah beberapa teknologi pengolahan sampah yang disajikan pada tabel 3 berikut.

Tabel 3. Teknologi Pengolahan Sampah Kota

Teknologi Pengolahan Sampah	Jenis Sampah yang Diolah	Mekanisme Kerja	Kelebihan	Kekurangan	Estimasi Biaya (USD/ton)	Tingkat Penyerapan Sampah
Insinerasi	Organik & Anorganik	Pembakaran suhu tinggi menghasilkan energi panas	Efisien dalam mengurangi volume sampah	Emisi gas berbahaya, biaya operasional tinggi	100–200	Tinggi
Gasifikasi	Sampah kering & tinggi kalori	Konversi termokimia menghasilkan syngas	Efisiensi energi tinggi, emisi rendah	Teknologi kompleks, biaya investasi tinggi	150–250	Sedang

Pirolisis	Plastik, karet, biomassa	Pemanasan tanpa oksigen menghasilkan bio-oil dan gas	Produk bernilai tinggi	Teknologi belum umum, biaya tinggi	200–300	Sedang
Digester Anaerobik	Limbah organik basah	Fermentasi menghasilkan biogas	Biaya rendah, ramah lingkungan	Hanya untuk sampah organik, efisiensi rendah	50–100	Rendah–Sedang
Refuse-Derived Fuel (RDF)	Sampah kering & mudah terbakar	Pengolahan menjadi bahan bakar alternatif	Mengurangi penggunaan batu bara	Kualitas bahan bakar bervariasi	60–120	Sedang

Hasil Analisis Investasi Berkelanjutan (Green Finance)

Analisis investasi berkelanjutan dilakukan dengan mempertimbangkan pendekatan Environmental, Social, and Governance (ESG) serta mekanisme potensi pendanaan hijau seperti green bonds dan digital finance. Prinsip-prinsip ini diidentifikasi sebagai katalis yang mempercepat transisi energi bersih dengan menghubungkan sektor publik dan swasta (Lin & Xie, 2025; Lou et al., 2025; Bulkot et al., 2023). Kebijakan fiskal hijau dan pajak lingkungan berperan penting dalam memperluas basis partisipasi pelaku usaha terhadap adopsi energi bersih secara inklusif (Kementerian PPN/Bappenas, 2024; Anbumozhi & Kimura, 2018).

Peran strategis lembaga perbankan dalam mempercepat transisi menuju ekonomi sirkular sangat menonjol, karena bank berfungsi tidak hanya sebagai penyedia pembiayaan tetapi juga sebagai leader dalam inovasi keuangan berkelanjutan (Ozili & Opene, 2021; Muhammad & Hoffmann, 2024; Lou et al., 2025). Untuk mendukung ekonomi sirkular, bank perlu membangun pemahaman bersama tentang konsep tersebut, mengeluarkan panduan pembiayaan yang diakui secara luas, serta menyesuaikan model keuangan agar mampu menilai risiko dan nilai aset secara berbeda dari ekonomi linear (Lin & Xie, 2025; Tiwari et al., 2024).

Selain itu, sektor perbankan didorong untuk menyediakan jalur kredit bagi bisnis sirkular, mendirikan green banks, melatih staf dalam manajemen risiko sirkular, dan menanamkan budaya pengurangan limbah di seluruh organisasi (Ozili & Opene, 2021; Kementerian PPN/Bappenas, 2025a). Melalui langkah-langkah ini, sektor keuangan dapat menjadi penggerak utama yang menjembatani kebutuhan modal bagi inovasi hijau serta memperkuat kolaborasi lintas pemangku kepentingan – pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat – guna mendukung pencapaian pembangunan berkelanjutan dan mitigasi perubahan iklim (Bulkot et al., 2023; Lin & Xie, 2025; Irawan et al., 2024).

Penyusunan Kerangka Sinergi (Politik–Teknologi–Finansial–Sosial)

Tahapan integratif ini menyatukan hasil analisis kebijakan, teknologi, dan investasi untuk membangun kerangka sinergi lintas sektor yang kuat. Kerangka ini mengikuti model empat pilar sinergi: policy alignment, technological innovation, financial mobilization, dan community empowerment (Anbumozhi & Kimura, 2018; Lou et al., 2025; Sugiyono et al., 2022). Ekonomi sirkular menjadi dasar utama untuk membangun sistem energi perkotaan yang inklusif dan rendah karbon, sementara dimensi sosial diperkuat melalui peran UMKM hijau dalam rantai nilai energi (Irawan et al., 2024; Wikurendra et al., 2024a).

Salah satu sistem pengelolaan sampah yang menjadi fokus utama adalah Municipal Solid Waste Management (MSWM), yaitu pengelolaan sistematis sampah padat perkotaan yang

mencakup seluruh proses dari pengumpulan, penyimpanan, pengangkutan, pemrosesan, hingga pembuangan akhir (Efstratios, 2017; Bhatsada et al., 2023; Prihandoko et al., 2022). Tujuannya adalah mengelola sampah secara aman dan efisien bagi lingkungan, dengan berbagai metode seperti daur ulang, pengomposan, dan pengolahan Waste-to-Energy (WtE) (Zhao et al., 2016; Soleh et al., 2020).

Komponen-komponen utama seperti pemilahan di sumber, pengangkutan efisien, serta pemrosesan limbah menjadi energi, menjadi strategi yang sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan sustainable city management (Tiwari et al., 2024; Rimantho et al., 2022).

Contoh sampah yang termasuk dalam MSW (Sampah Padat Perkotaan): Kemasan produk, kertas, botol, sisa makanan, potongan rumput, dan sampah taman, pakaian, furnitur, peralatan, dan baterai, kertas, plastik, tekstil, kulit, kayu, kaca, dan logam.

Pentingnya sistem MSWM dalam mendukung pembangunan kota berkelanjutan ditunjukkan oleh kemampuannya mengurangi dampak lingkungan, memulihkan sumber daya melalui daur ulang, serta mendukung ekonomi hijau yang menciptakan lapangan kerja (Wikurendra et al., 2024a; Anbumozhi & Kimura, 2018; Lin & Xie, 2025). Model integrasi antara kebijakan publik, inovasi teknologi, dan partisipasi komunitas menjadi bagian dari triple helix pembangunan yang mendorong efisiensi sumber daya dan inklusi sosial dalam pengelolaan energi perkotaan (Tiwari et al., 2024; Kementerian PPN/Bappenas, 2025a; Lou et al., 2025).

Kerangka Final – Bioenergi Sampah Kota

Tahap akhir metode ini menyusun kerangka konseptual final yang menggambarkan hubungan sistemik sinergi lintas sektor antara kebijakan nasional, investasi hijau, inovasi teknologi WtE, dan pemberdayaan masyarakat kota (Rudi Haryanto Simanjuntak et al., 2025; Kementerian PPN/Bappenas, 2024; Lou et al., 2025). Proses ini dimulai dari penentuan komponen inti (kebijakan, teknologi, investasi, dan partisipasi masyarakat), dilanjutkan dengan pemetaan hubungan antarvariabel menggunakan kerangka kebijakan–teknologi–keuangan–masyarakat (Anbumozhi & Kimura, 2018; Irawan et al., 2024). Seluruh informasi kemudian disintesis menjadi model konsep yang menunjukkan alur interaksi dan titik intervensi yang relevan untuk percepatan pengembangan bioenergi dari sampah kota (Wikurendra et al., 2024a; Lin & Xie, 2025).

Kerangka sinergi ini menjadi kontribusi utama penelitian dengan batasan bahwa analisis sepenuhnya berbasis data sekunder dan tidak menilai desain teknis mendalam (Tiwari et al., 2024; Muhammad & Hoffmann, 2024). Model ini bertujuan menjadi panduan konseptual bagi perumusan kebijakan dan investasi di sektor bioenergi perkotaan yang selaras dengan prinsip just and inclusive energy transition sebagaimana diamanatkan dalam United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1992) dan Sustainable Development Goals (SDG 7, 9, 11, 12, dan 13) (Publications, 1992; Kementerian PPN/Bappenas, 2025b; Lou et al., 2025).

Potensi bisnis daur ulang sampah kota sebagai solusi terhadap meningkatnya volume sampah di wilayah perkotaan Indonesia, khususnya Jakarta, juga dipertegas melalui pendekatan kolaboratif lintas sektor. Pemerintah telah menerapkan berbagai strategi seperti 3R dan WtE, dengan capaian pengelolaan yang terus ditingkatkan (Rimantho et al., 2022; Prihandoko et al., 2022). Bisnis daur ulang sampah menawarkan peluang ekonomi melalui teknologi pengolahan sampah menjadi energi terbarukan, serta peluang usaha seperti bank sampah elektronik dan daur ulang plastik yang sejalan

dengan visi ekonomi hijau nasional (Anbumozhi & Kimura, 2018; Yosiana & Handayani, 2024; Krystallyn Gracela Angeline, 2024). Integrasi konsep ekonomi sirkular dan digitalisasi juga diulas sebagai pendekatan inovatif untuk menciptakan model pembangunan berkelanjutan di masa depan (Lin & Xie, 2025; Lou et al., 2025; Tiwari et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini memberikan lima kontribusi utama bagi pengembangan kebijakan dan praktik transisi energi di Indonesia. Pertama, model sinergi lintas sektor yang diusulkan memperlihatkan bahwa integrasi antara kebijakan nasional, inovasi teknologi waste-to-energy (WtE), dan pembiayaan hijau berbasis ESG dapat memperkuat efektivitas penerapan ekonomi sirkular di tingkat perkotaan (Anbumozhi & Kimura, 2018; Lin & Xie, 2025; Lou et al., 2025). Pendekatan ini sejalan dengan teori green transition governance yang menekankan pentingnya keselarasan kebijakan antar sektor untuk mempercepat transformasi energi bersih (Tiwari et al., 2024; Kementerian PPN/Bappenas, 2025a). Integrasi tiga pilar tersebut mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), terutama pada aspek energi bersih, kota berkelanjutan, dan aksi iklim (Publications, 1992; Rudi Haryanto Simanjuntak et al., 2025).

Kedua, hasil analisis kebijakan menunjukkan bahwa penguatan koordinasi vertikal–horizontal antarinstansi masih menjadi tantangan utama yang harus diatasi untuk menciptakan policy coherence dalam penerapan energi terbarukan (Tiwari et al., 2024; Kementerian PPN/Bappenas, 2024; Anbumozhi & Kimura, 2018). Kurangnya harmonisasi antara kebijakan energi, lingkungan, dan investasi menyebabkan fragmentasi implementasi di tingkat daerah. Penelitian ini menemukan bahwa keberhasilan sinergi kebijakan dapat ditingkatkan melalui sinkronisasi antara Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) dan kebijakan ekonomi hijau daerah (Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017; Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2025). Selain itu, penting untuk memperkuat kapasitas kelembagaan dalam menerjemahkan prinsip ESG menjadi panduan operasional proyek energi (Lin & Xie, 2025; Lou et al., 2025).

Ketiga, evaluasi teknologi menunjukkan bahwa refuse-derived fuel (RDF) dan biomassa memiliki potensi signifikan untuk dikembangkan menjadi bioenergi berkelanjutan dengan nilai ekonomi tinggi dan kontribusi besar terhadap pengurangan emisi karbon (Prihandoko et al., 2022; Efstratios, 2017; Bhatsada et al., 2023). Hasil kajian menunjukkan bahwa tingkat efisiensi energi dan kemampuan reduksi limbah sangat bergantung pada kesesuaian teknologi dengan karakteristik lokal sampah Indonesia (Wikurendra et al., 2024a; Zhao et al., 2016). Integrasi RDF dengan industri semen dan pembangkit listrik berbasis EBT dapat meningkatkan stabilitas sistem energi nasional sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Soleh et al., 2020; Sugiyono et al., 2022). Studi perbandingan global juga menunjukkan bahwa negara seperti Jepang dan Swedia telah berhasil menerapkan teknologi combined heat and power (CHP) dengan efisiensi tinggi yang dapat dijadikan rujukan bagi Indonesia (Tirta, 2023; Anbumozhi & Kimura, 2018).

Keempat, hasil analisis investasi menegaskan bahwa skema pembiayaan inovatif seperti green bond, digital finance, dan blended finance berperan sebagai katalis percepatan investasi energi bersih di sektor publik dan swasta (Lin & Xie, 2025; Bulkot et al., 2023; Muhammad & Hoffmann, 2024). Penerapan prinsip ESG dalam penyaluran dana investasi memungkinkan pengelolaan risiko lingkungan dan sosial yang lebih terukur (Lou et al., 2025; Tiwari et al., 2024). Selain itu, dukungan

regulasi seperti PP No. 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi dan RUPTL 2025–2034 memperkuat dasar hukum pembiayaan hijau nasional (Keputusan Menteri ESDM, 2025; Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2023). Dengan demikian, kombinasi policy-driven incentives dan market-based instruments dapat menciptakan iklim investasi yang lebih stabil bagi proyek energi terbarukan (Kementerian PPN/Bappenas, 2025b; Ozili & Opene, 2021).

Kelima, pendekatan pemberdayaan masyarakat melalui penguatan UMKM hijau dan partisipasi komunitas dalam rantai nilai energi menunjukkan relevansi strategis untuk memperkuat dimensi sosial dari pembangunan berkelanjutan (Rimantho et al., 2022; Irawan et al., 2024; Anbumozhi & Kimura, 2018). Partisipasi publik dalam pengelolaan sampah kota tidak hanya berkontribusi terhadap pengurangan timbulan limbah, tetapi juga menciptakan lapangan kerja hijau dan menumbuhkan kesadaran lingkungan di tingkat lokal (Wikurendra et al., 2024a; Lou et al., 2025). Studi sebelumnya menegaskan bahwa community-based circular economy memperkuat legitimasi sosial terhadap proyek energi dan mendorong keberlanjutan jangka panjang (Ozili & Opene, 2021; Lin & Xie, 2025). Dengan demikian, kolaborasi public–private–community partnership (PPCP) menjadi komponen penting dalam memastikan transisi energi yang adil dan inklusif (Tiwari et al., 2024; Kementerian PPN/Bappenas, 2025a).

Aplikasi praktis dari kerangka ini mencakup pengembangan proyek percontohan waste-to-energy berbasis komunitas di perkotaan yang dapat dikaitkan langsung dengan kebijakan nilai ekonomi karbon dan skema insentif fiskal hijau (Kementerian PPN/Bappenas, 2024; Lin & Xie, 2025). Ke depan, riset dapat dikembangkan ke arah pemodelan kuantitatif untuk mengukur kontribusi ekonomi sirkular terhadap bauran energi nasional serta analisis spasial untuk mengidentifikasi potensi bioenergi kota-kota besar di Indonesia (Tiwari et al., 2024; Lou et al., 2025). Selain itu, penelitian selanjutnya dapat memperluas dimensi sosial dan tata kelola dengan menilai efektivitas kemitraan publik–swasta–komunitas dalam mendorong investasi berkelanjutan yang inklusif (Ozili & Opene, 2021; Muhammad & Hoffmann, 2024). Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memperkuat dasar konseptual transisi energi yang adil dan rendah karbon, tetapi juga memberikan arah strategis bagi pengembangan kebijakan lintas sektor dalam mendukung pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs) di Indonesia (Publications, 1992; Kementerian PPN/Bappenas, 2025b; Rudi Haryanto Simanjuntak et al., 2025).



Gambar 2. Sinergi Kebijakan-Teknologi-Investasi-Sosial

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa percepatan transisi menuju ekonomi rendah karbon di Indonesia hanya dapat dicapai melalui sinergi lintas sektor yang kuat antara kebijakan publik, inovasi teknologi, dan investasi berkelanjutan yang inklusif (Anbumozhi & Kimura, 2018; Tiwari et al., 2024; Lou et al., 2025). Hasil sintesis menunjukkan bahwa integrasi kebijakan energi nasional dengan prinsip Environmental, Social, and Governance (ESG) merupakan fondasi penting untuk mewujudkan sistem energi bersih yang berkeadilan dan adaptif terhadap perubahan iklim (Lin & Xie, 2025; Kementerian PPN/Bappenas, 2025b). Pendekatan ini sejalan dengan arah global transisi energi hijau sebagaimana diamanatkan dalam United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC, 1992) dan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Publications, 1992; Kementerian PPN/Bappenas, 2024).

Temuan mengenai penerapan teknologi waste-to-energy (WtE) dan biomassa memperlihatkan potensi besar pengelolaan sampah perkotaan sebagai sumber energi terbarukan yang mendukung ekonomi sirkular serta menciptakan nilai tambah ekonomi lokal (Efstratios, 2017; Bhatsada et al., 2023; Prihandoko et al., 2022). Teknologi seperti insinerasi, pirolisis, dan refuse-derived fuel (RDF) telah terbukti meningkatkan efisiensi energi serta mengurangi beban TPA, khususnya di kota-kota besar Indonesia (Wikurendra et al., 2024a; Soleh et al., 2020). Oleh karena itu, adopsi teknologi yang sesuai dengan karakteristik lokal dan dukungan kebijakan insentif sangat penting untuk memastikan keberhasilan implementasi WtE (Yan et al., 2023; Sugiyono et al., 2022).

Penguatan mekanisme pembiayaan hijau melalui green bonds, digital finance, dan investasi biru terbukti berperan sebagai katalis dalam mempercepat transformasi energi bersih (Lin & Xie, 2025; Bulkot et al., 2023; Muhammad & Hoffmann, 2024). Selain memberikan kepastian investasi, instrumen tersebut juga memperluas partisipasi sektor swasta dalam pembiayaan proyek-proyek energi terbarukan. Dukungan fiskal pemerintah melalui kebijakan ekonomi hijau dan rencana konservasi energi nasional semakin memperkuat daya tarik investasi berkelanjutan (Kementerian PPN/Bappenas, 2025a; Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 33 Tahun 2023).

Pemberdayaan komunitas melalui penguatan UMKM hijau dan partisipasi publik menjadi dimensi sosial penting yang memastikan keberlanjutan dan pemerataan manfaat dari inovasi teknologi energi (Rimantho et al., 2022; Irawan et al., 2024; Ozili & Opene, 2021). Partisipasi masyarakat tidak hanya meningkatkan kesadaran lingkungan, tetapi juga memperkuat legitimasi sosial proyek energi berbasis ekonomi sirkular di perkotaan (Wikurendra et al., 2024a; Lou et al., 2025). Melalui kemitraan public-private-community partnership (PPCP), sinergi lintas aktor dapat menciptakan model bisnis hijau yang inklusif dan berkelanjutan (Tiwari et al., 2024; Kementerian PPN/Bappenas, 2024).

Sebagai arah pengembangan riset selanjutnya, penelitian ini merekomendasikan pendekatan multidisiplin yang menggabungkan analisis kuantitatif, spasial, dan sosial-ekonomi untuk mengukur dampak sinergi lintas sektor terhadap pencapaian target pembangunan berkelanjutan (Lin & Xie, 2025; Lou et al., 2025; Tiwari et al., 2024). Penelitian lanjutan juga perlu memperluas kajian pada efektivitas kemitraan publik-swasta-komunitas (PPCP) dalam menciptakan model bisnis hijau serta mengevaluasi instrumen kebijakan fiskal hijau yang mendukung investasi di bidang energi terbarukan (Ozili & Opene, 2021; Muhammad & Hoffmann, 2024). Dengan demikian, penelitian ini

berkontribusi dalam memperkuat kerangka konseptual dan arah strategis bagi Indonesia untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan melalui inovasi teknologi, investasi hijau, dan pemberdayaan masyarakat secara inklusif dan berkelanjutan (Publications, 1992; Kementerian PPN/Bappenas, 2025b; Rudi Haryanto Simanjuntak et al., 2025).

DAFTAR PUSTAKA

- Anbumozhi, Venkatachalam., & Kimura, Fukunari. (2018). Industry 4.0: empowering ASEAN for the circular economy. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia.
- Bhatsada, A., Patumsawad, S., Towprayoon, S., Chiemchaisri, C., Phongphiphat, A., & Wangyao, K. (2023). Modification of the Aeration-Supplied Configuration in the Biodrying Process for Refuse-Derived Fuel (RDF) Production. *Energies*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/en16073235>
- Bulkot, O., Liubkina, O., Anisimova, L., & Petrovsky, M. (2023). INVESTING IN RENEWABLE ENERGY TRANSITION AS A KEY TREND IN THE GLOBAL ECONOMY. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Economics*, 223, 10–19. <https://doi.org/10.17721/1728-2667.2023/223-2/2>
- Efstratios N. Kalogirou. (2017). Waste-to-Energy Technologies and Global Applications.
- Irawan, D., Cahaya, A., Nurcahyaningtyas, M., Studi, P., Pembangunan, E., Bisnis, F., & Ekonomika, D. (2024). Pendekatan ekonomi sirkular sebagai strategi pembangunan berkelanjutan di Indonesia (Vol. 13, Issue 1).
- Ishaq, M., Ghouse, G., Fernández-González, R., Puime-Guillén, F., Tandir, N., & Santos de Oliveira, H. M. (2022). From Fossil Energy to Renewable Energy: Why is Circular Economy Needed in the Energy Transition? *Frontiers in Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.941791>
- Rudi Haryanto Simanjuntak, Rienni Manihuruk & et al. (2025). *Bisnis Energi Terbarukan: Masa Depan Bisnis Energi Terbarukan Indonesia*.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2024). *Peta Jalan Ekonomi Biru Indonesia Edisi 2* (Leonardo A. A. Teguh Sambodo, Ed.; Issue 2).
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2025a). *Peta Jalan Pengembangan Tenaga Kerja Hijau Indonesia*.
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/ Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas). (2025b). *Rencana Pembangunan Jangka Menengah nasional Tahun 2025-2029*.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 188.K/TL.03/MEM.L/2025. (2025). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2025 - 2034*.
- Krystallyn Gracela Angeline. (2024). *Revolusi Energi Terbarukan: Status, Potensi dan Tantangan Biomassa dan Air di Indonesia*. *Jurnal Teknik ITS* Vol. X, No. Y.
- Lin, B., & Xie, Y. (2025). How does digital finance drive energy transition? A green investment-based perspective. *Financial Innovation*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40854-025-00772-1>

- Lou, W., Lu, S., Li, M., & Taghizadeh-Hesary, F. (2025). Determinants of green energy investment—financial drivers and equitable transition. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04760-9>
- Muhammad, S., & Hoffmann, C. (2024). From investment to impact: The role of green finance and technological innovation on German energy transition. *Renewable Energy*, 237. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121665>
- Ozili, P. K., & Opene, F. (2021). The role of banks in the circular economy. <https://ssrn.com/abstract=3778196>
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 3 Tahun 2025. (2025). Konservasi Energi Oleh Pemerintah Dan Pemerintah Daerah.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2025. (2025). Manajemen Energi.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia nomor 33 Tahun 2023. (2023). Konservasi Energi.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2025. (2025). Kebijakan Energi Nasional.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 12 Tahun 2025. (2025). Rencana Pembangunan Jangka Menengah nasional Tahun 2025-2029.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia nomor 22 Tahun 2017. (2017). Rencana Umum Energi Nasional.
- Prihandoko, D., Purnomo, C. W., Widyaputra, P. K., & Nasirudin. (2022). Application of Refuse-Derived Fuel (RDF) Plant in Piyungan Landfill Municipal Solid Waste Management. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*, 22(2), 296–305. <https://doi.org/10.22146/ajche.75560>
- Publications, U. N. (1992). United Nations Frame Work Convention on Climate Change.
- Rimantho, D., Syaiful, S., Nurfaida, & Sulandari, U. (2022). Electronic waste bank model as a solution for implementing circular economy: Case study DKI Jakarta-Indonesia. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.1030196>
- Soleh, M., Hadiyanto, H., Windarta, J., Anne, O., Hendroko Setyobudi, R., & Mel, M. (2020). Technical and Economic Analysis of Municipal Solid Waste Potential for Waste to Energy Plant (Case Study: Jatibarang Landfill Semarang, Central Java, Indonesia). *E3S Web of Conferences*, 190. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019000027>
- Sugiyono, A., Febijanto, I., Hilmawan, E., & Adiarso. (2022). Potential of biomass and coal co-firing power plants in Indonesia: a PESTEL analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 963(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/963/1/012007>
- Tirta, A. (2023). The Integration of Energy Strategies in ASEAN: Key Findings of the 8 th ASEAN Energy Outlook (AEO8).
- Tiwari, S., Si Mohammed, K., Mentel, G., Majewski, S., & Shahzadi, I. (2024). Role of circular economy, energy transition, environmental policy stringency, and supply chain pressure on CO2

emissions in emerging economies. *Geoscience Frontiers*, 15(3).
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101682>

Wikurendra, E. A., Csonka, A., Nagy, I., & Nurika, G. (2024a). Urbanization and Benefit of Integration Circular Economy into Waste Management in Indonesia: A Review. In *Circular Economy and Sustainability* (Vol. 4, Issue 2, pp. 1219–1248). Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/s43615-024-00346-w>

Yan, H., Qamruzzaman, M., & Kor, S. (2023). Nexus between Green Investment, Fiscal Policy, Environmental Tax, Energy Price, Natural Resources, and Clean Energy—A Step towards Sustainable Development by Fostering Clean Energy Inclusion. *Sustainability (Switzerland)*, 15(18). <https://doi.org/10.3390/su151813591>

Yosiana, C., & Handayani, I. G. A. K. R. (2024). Legal Aspects in the Regulation of Environmental Approval for Co-Firing Biomass Energy Projects in Indonesia (pp. 670–677).
https://doi.org/10.2991/978-2-38476-218-7_111

Zhao, L., Giannis, A., Lam, W. Y., Lin, S. X., Yin, K., Yuan, G. A., & Wang, J. Y. (2016). Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value. *Sustainable Environment Research*, 26(1), 51–54. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2015.09.003>.