



Kerjasama Pemerintah Denmark-Indonesia dalam Implementasi Teknologi RDF untuk Pengelolaan Sampah dan Energi Terbarukan di Indonesia

Salsabila Meutia Kaltsum Setia Budi^{1*}, Haryo Prasodjo², M. Fadzryl Adzmy³

¹⁾²⁾³⁾ Fakultas Ilmu Sosial dan Ilmu Politik, Universitas Muhammadiyah Malang Indonesia

Email correspondence: meutiabilla@gmail.com

Keywords :

renewable energy,
bilateral
cooperation,
waste
management,
RDF, technology,
technology
transfer.

Kata Kunci :

energi
terbarukan,
kerja sama
bilateral,
pengelolaan
sampah, RDF,
teknologi,
transfer
teknologi.

Abstract

Indonesia faces major challenges in waste management, particularly in relation to inadequate infrastructure, regulatory limitations, and slow adoption of sustainable technologies. These conditions create an urgent need for innovative solutions in waste management and the development of alternative energy sources. This study aims to analyze the cooperation between the Danish and Indonesian governments in supporting the implementation of Refuse-Derived Fuel (RDF) technology as a strategic solution in waste management and renewable energy development in Indonesia. Secondary data for this research was collected from journals, official reports, and relevant scientific articles through a literature study such as a literature review from the Scopus database and the use of the Harzing application: published or perished. The research shows that the Danish government assists in technology transfer and capacity building through training programs and technical assistance. In addition, this collaboration has helped build environmentally friendly RDF infrastructure, reduce carbon emissions, and encourage environmentally friendly regulations. This research is expected to assist Indonesian policymakers in collaborating with other countries to support waste management and sustainable energy development

Abstrak

Indonesia menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah, terutama terkait infrastruktur yang belum memadai, keterbatasan regulasi, dan lambatnya adopsi teknologi berkelanjutan. Kondisi ini menimbulkan kebutuhan mendesak akan solusi inovatif dalam pengelolaan limbah sekaligus pengembangan energi alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerja sama pemerintah Denmark-Indonesia dalam mendukung implementasi teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) sebagai solusi strategis dalam pengelolaan sampah dan pengembangan energi terbarukan di Indonesia. Data sekunder untuk penelitian ini dikumpulkan dari jurnal, laporan resmi, dan artikel ilmiah yang relevan melalui studi pustaka seperti kajian literatur yang berasal dari *database scopus* dan penggunaan aplikasi *harzing: published or perished*. Penelitian menunjukkan bahwa pemerintah Denmark membantu transfer teknologi dan pengembangan kapasitas melalui program pelatihan dan bantuan teknis. Selain itu, kolaborasi ini telah membantu membangun infrastruktur RDF yang ramah lingkungan, mengurangi emisi karbon, serta mendorong regulasi yang sesuai dengan lingkungan. Penelitian ini diharapkan dapat membantu para pembuat kebijakan Indonesia untuk bekerja sama dengan negara lain dalam mendukung pengelolaan sampah dan pengembangan energi berkelanjutan.

PENDAHULUAN

Indonesia menghasilkan sekitar 68 juta ton sampah setiap tahun dengan jumlah penduduk lebih dari 281 juta jiwa, tetapi tingkat pengelolaan limbah masih terbatas sekitar 60% menjadikannya salah satu penghasil sampah terbesar di dunia (Utoyo & Sudarti, 2022). Indonesia juga menempati peringkat kelima sebagai negara penghasil sampah terbesar di dunia (Enandini, 2024). Permasalahan ini menjadi isu yang semakin krusial, tidak hanya di tingkat nasional tetapi juga di tingkat global karena memiliki dampak yang besar terhadap lingkungan, kesehatan masyarakat, maupun perubahan iklim. Jika tidak ditangani dengan baik penumpukan sampah dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air sehingga meningkatkan emisi gas rumah kaca yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan iklim.

Ketergantungan pada sistem pembuangan akhir (TPA) menyebabkan penumpukan sampah dan pencemaran lingkungan. Sebagian besar TPA, seperti Bantargebang dan Benowo, telah melampaui kapasitas tampungnya, sementara praktik pembakaran terbuka masih banyak dilakukan, meningkatkan emisi gas rumah kaca. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem pengelolaan sampah Indonesia masih belum berkembang, di mana kapasitas pengelolaan belum sebanding dengan volume timbunan limbah yang dihasilkan setiap harinya. Untuk mengatasi masalah ini melalui pengelolaan sampah yang lebih baik dan berkelanjutan, pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta harus bekerja sama (Mustaghfiroh *et al.*, 2020). Oleh sebab itu, diperlukan solusi inovatif untuk mencapai keberlanjutan lingkungan.

Dalam upaya menuju energi yang berkelanjutan, ketergantungan pada bahan bakar fosil menjadi tantangan utama dalam transisi menuju energi yang berkelanjutan. Sekitar 90% konsumsi energi Indonesia bergantung pada bahan bakar fosil, yang menyebabkan emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim (Nurwahyudin & Harmoko, 2020). Pemerintah Indonesia menyadari efek negatif akan hal tersebut dan berkomitmen untuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Mereka berkomitmen untuk mencapai 23% dari total bauran energi pada tahun 2025. Teknologi bahan bakar sampah atau yang disebut dengan *Refuse Derived Fuel* (RDF) menjadi solusi yang sedang dikembangkan untuk menjadikan penggunaan sampah sebagai sumber energi alternatif (Maulidayanti *et al.*, 2024).

Pemerintah Denmark dan Indonesia telah menjalin kerja sama dalam berbagai bidang, seperti energi dan lingkungan. Kerja sama ini didasarkan pada kepentingan bersama untuk mengurangi dampak negatif dari perubahan iklim dan meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Salah satu fokus utama dalam kerja sama bilateral ini adalah penerapan teknologi *Refuse Derived Fuel* (RDF). RDF adalah teknologi yang dapat mengatasi dua masalah sekaligus yaitu pengelolaan sampah dan produksi energi. RDF mengubah sampah, terutama sampah plastik dan organik, menjadi bahan

bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti batu bara (Nurfadhilah *et al.*, 2022). Selain itu, teknologi RDF membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, sejalan dengan komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi sebesar 29% pada tahun 2030 (Syaharani & Tavares, 2020). Kerja sama ini tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga ekonomi.

Keterlibatan Denmark didorong pada kepentingan ideologis, ekonomi, dan tatanan global (Dewi, 2021). Indonesia dan Denmark menunjukkan komitmen global terhadap pembangunan berkelanjutan, terutama dalam upaya mereka untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) yang diresmikan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). Fokus utama kedua negara adalah dalam pengelolaan lingkungan dan transisi menuju energi terbarukan, yang merupakan komponen penting dari SDGs, terutama tujuan ke-7 yaitu energi bersih dan terjangkau. Indonesia, yang memiliki populasi yang besar dan sumber daya alam yang melimpah, menghadapi tantangan besar dalam mengelola limbah dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Puspita, 2024). Melalui program bantuan lingkungan (ESP3).

Melalui, kebijakan inovatif dan teknologi yang canggih, Denmark telah mengoptimalkan proses pirolisis serta meningkatkan efisiensi konversi energi RDF, yang membedakannya dari metode konvensional. Strategi ini dapat mengubah lebih dari 50% sampah Denmark menjadi energi berkelanjutan (Zahir *et al.*, 2024). Prinsip ekonomi sirkular negara menjadikan limbah sebagai sumber daya yang dapat dimanfaatkan kembali. Teknologi ini tidak hanya mengurangi biaya pengelolaan sampah tetapi juga membuka peluang bisnis baru.

Namun demikian, ada beberapa tantangan untuk menerapkan teknologi RDF di Indonesia, termasuk dalam hal dukungan teknologi, pendanaan, serta peningkatan kemampuan sumber daya manusia. Sementara itu, Denmark berperan penting dalam membantu Indonesia mengatasi tantangan ini melalui kolaborasi yang saling menguntungkan. Denmark dapat berbagi keahlian teknologi, memberikan dukungan finansial, dan mengadakan program pelatihan untuk meningkatkan kapasitas sumber daya manusia di Indonesia (Defi Setiawati & Subagyo, 2025).

Berbagai penelitian telah membahas isu pengelolaan sampah dan energi terbarukan di Indonesia maupun kerja sama internasional yang mendukungnya. Mustaghfiroh *et al.* (2020) menyoroti penerapan *good environmental governance* dalam pengelolaan sampah di Indonesia yang masih menghadapi tantangan koordinasi antar lembaga. Nurwahyudin & Harmoko (2020) menekankan pentingnya diversifikasi energi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Maulidayanti *et al.* (2024) serta Rachman *et al.* (2020) melakukan evaluasi teknis

terhadap RDF Plant di Cilacap dan menemukan bahwa efisiensi RDF masih bergantung pada dukungan kebijakan lokal dan kapasitas infrastruktur. Di sisi lain, penelitian Enny Fathurachmi (2022) dan Hendarsh (2023) menguraikan bahwa kerja sama Denmark-Indonesia dalam program *Environmental Support Programme Phase 3 (ESP3)* berperan penting dalam memperkenalkan teknologi RDF, namun belum menjelaskan aspek kebijakan lintas negara secara mendalam.

Penelitian Dewi (2021) dan Defi Setiawati & Subagyo (2025) menelaah dimensi politik dan diplomasi dalam kerja sama lingkungan Denmark-Indonesia, tetapi belum menelusuri bagaimana kebijakan tersebut diterapkan secara teknis dalam proyek RDF. Studi internasional seperti Shang et al. (2022) dan Zahir et al. (2024) menegaskan bahwa keberhasilan transfer teknologi hijau ditentukan oleh kesiapan kelembagaan penerima dan dukungan kebijakan donor, sedangkan Dollan et al. (2023) menilai kemitraan ekonomi sirkular Denmark-Indonesia masih bersifat konseptual. Beberapa kajian terbaru juga mengulas keberhasilan penerapan RDF di berbagai negara seperti Jepang, Jerman, dan Vietnam (Prof et al., n.d.; Vielhaber, 2015), namun belum banyak yang mengkaji bagaimana kolaborasi antar pemerintah lintas negara berkontribusi pada adopsi teknologi RDF di negara berkembang seperti Indonesia.

Penelitian terdahulu lebih banyak memfokuskan pada pengelolaan sampah konvensional dan pengembangan energi terbarukan, sementara tidak banyak yang mengeksplorasi kontribusi konkret dari kerjasama internasional dalam teknologi RDF, khususnya dalam konteks diplomasi, transfer teknologi, dan dukungan kebijakan dari pihak Denmark (Ibtisamah, 2022). Untuk mengisi kekosongan tersebut, penelitian ini menganalisis kerja sama pemerintah Denmark dan Indonesia dalam transfer teknologi RDF dan kontribusinya terhadap pengelolaan sampah serta transisi energi terbarukan di Indonesia. Keunggulan studi ini terletak pada pendekatan interdisipliner yang menggabungkan analisis kebijakan, kerja sama internasional, dan teknologi lingkungan. Penelitian ini memberikan wawasan baru terkait pentingnya kolaborasi lintas negara dalam mendorong inovasi pengelolaan sampah.

Penelitian ini menggunakan *Green Technology Transfer Framework* sebagai kerangka teori utama untuk menganalisis implementasi teknologi RDF (*Refuse-Derived Fuel*) dalam konteks kerja sama pemerintah Denmark-Indonesia. Menurut Shang et al. (2022) dalam *International Journal of Environmental Research and Public Health*, keberhasilan transfer teknologi hijau dari negara maju ke negara berkembang sangat dipengaruhi oleh tiga faktor utama, yaitu kapasitas kelembagaan penerima, dukungan kebijakan dari pihak donor, dan mekanisme kolaboratif yang mencakup pelatihan, pendanaan, serta adaptasi teknologi dengan kondisi lokal. Faktor pertama,

kapasitas kelembagaan penerima, menekankan pentingnya kemampuan institusi di negara penerima dalam mengelola dan mengoperasikan teknologi baru, termasuk sumber daya manusia, struktur manajemen, dan prosedur operasional yang mendukung implementasi RDF di Indonesia, khususnya di fasilitas percontohan Cilacap (Shang *et al.*, 2022). Faktor kedua, dukungan kebijakan dari pihak donor, mencakup panduan regulatif, standar teknis, dan insentif yang diberikan Denmark untuk memfasilitasi adopsi teknologi.

Faktor ketiga, mekanisme kolaboratif, menekankan interaksi praktis antara kedua negara melalui pelatihan teknis, pendanaan proyek, pertukaran informasi, serta adaptasi teknologi dengan karakteristik lokal. Kerangka ini relevan karena Denmark tidak hanya menyediakan teknologi RDF, tetapi juga memberikan dukungan teknis, regulatif, dan finansial, sementara Indonesia memperkuat kapasitas lokalnya untuk mengelola teknologi tersebut secara berkelanjutan. Dengan demikian, penggunaan *Green Technology Transfer Framework* memungkinkan penelitian ini untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi keberhasilan transfer teknologi hijau serta menilai efektivitas kolaborasi kedua pemerintah dalam mendorong inovasi berkelanjutan dan pengurangan kesenjangan teknologi antara negara maju dan berkembang.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian artikel ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi kepustakaan (*library research*). Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada analisis literatur sekunder yang relevan dengan kerja sama Pemerintah Denmark-Indonesia dalam implementasi teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) untuk pengelolaan sampah dan pengembangan energi terbarukan (A. Rachman *et al.*, 2024). Melalui metode ini peneliti dapat menganalisis data secara mendalam untuk memahami kebijakan, strategi kolaborasi, serta dinamika transfer teknologi antara kedua negara.

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan sistematis sebagaimana dalam *literature review modern* (Snyder, 2019). Tahap pertama identifikasi sumber literatur melalui basis data akademik seperti *Google Scholar*, *Scopus*, dan *Harzing's Publish or Perish* dengan menggunakan kata kunci: "*Refuse-Derived Fuel, Denmark-Indonesia cooperation, green technology transfer, renewable energy policy, dan waste-to-energy collaboration*". Selanjutnya, dilakukan seleksi sumber berdasarkan kriteria inklusi (relevan dengan kebijakan energi, pengelolaan sampah, atau kerja sama teknologi RDF di Indonesia dan Denmark). Proses seleksi dilakukan terhadap publikasi dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir untuk memastikan kebaruan data dan konteks yang sesuai dengan perkembangan kebijakan terkini.

Tahap berikutnya adalah analisis dan sintesis menggunakan analisis isi (*content analysis*) untuk mengidentifikasi tema, arah kebijakan, dan peran pemerintah, serta analisis wacana (*discourse analysis*) untuk memahami narasi dan konstruksi kebijakan (Komarudin *et al.*, 2024). Hasil analisis disajikan secara deskriptif-naratif guna memberikan gambaran menyeluruh tentang kontribusi kerja sama Denmark-Indonesia dalam penerapan teknologi RDF di Indonesia.

Untuk menjaga keakuratan dan validitas, penelitian ini menerapkan triangulasi sumber dengan membandingkan data dari jurnal akademik, laporan lembaga internasional, dan dokumen kebijakan pemerintah guna memastikan konsistensi informasi. Potensi bias seleksi literatur diminimalkan melalui konfirmasi temuan dari berbagai sumber. Pendekatan ini tidak hanya menggambarkan kerja sama teknologi, tetapi juga menelaah implikasinya terhadap kebijakan energi berkelanjutan di Indonesia. Dengan demikian, metode kualitatif berbasis studi kepustakaan ini menjadi dasar kuat untuk memahami dinamika kolaborasi lintas negara dalam transfer teknologi RDF, sebagaimana dijelaskan oleh Snyder (2019) dalam model *integrative literature review* yang berfokus pada analisis konseptual dan sintesis tematik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai negara yang berhasil menerapkan model pengelolaan limbah berbasis teknologi yang efektif dan ramah lingkungan, Denmark menawarkan solusi untuk menangani krisis sampah dan mendukung transisi energi ramah lingkungan (Enny Fathurachmi, 2022). RDF mulai dikembangkan pada awal 1970-an di Amerika Serikat melalui proyek percontohan di St. Louis, Missouri, yang mengolah sampah menjadi pelet bahan (Diaz *et al.*, 2018). Pada 1980-1990-an, teknologi RDF meluas ke Eropa khususnya Jerman dan Italia melalui program *waste to energy*. Sementara itu, pada 2000-an Jepang mengembangkan teknologi serupa yang dikenal dengan *Refused Paper and Plastic Fuel* (RPF) dengan standar mutu nasional dan rantai pasok yang jelas. Sedangkan di Indonesia penerapan RDF dimulai pada 2020 melalui pembangunan fasilitas di TPST Jeruklegi, Cilacap, Jawa Tengah.

Kerja sama Pemerintah Denmark-Indonesia dalam Transfer Teknologi RDF

Kerja sama antara Denmark dan Indonesia dalam pengelolaan limbah dan energi terbarukan diwujudkan melalui mekanisme hibah dan bantuan teknis di bawah Program *Environmental Support Programme Phase 3* (ESP3) yang dijalankan oleh *Danish International Development Agency* (DANIDA) bekerja sama dengan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Selain itu, terdapat kemitraan strategis antara Danish Environmental Protection Agency (DEPA) dan

KLHK melalui program *Strategic Sector Cooperation* (SSC). Fokus penelitian ini adalah pada bagaimana pemerintah Indonesia mengelola, mengimplementasikan, dan mengadaptasi dukungan eksternal tersebut, termasuk penyusunan kebijakan pengelolaan limbah berbasis teknologi hijau, penguatan kapasitas kelembagaan, dan koordinasi antar instansi terkait.

Pemerintah Indonesia juga berperan aktif dalam memanfaatkan pendanaan proyek percontohan RDF, mengarahkan transfer teknologi, serta menyelenggarakan pelatihan tenaga ahli agar praktik pengelolaan sampah dapat dijalankan secara berkelanjutan. Pendekatan ini menekankan bahwa keberhasilan transfer teknologi hijau tidak hanya bergantung pada dukungan donor, tetapi juga pada kapasitas pemerintah sebagai regulator, fasilitator, dan pengambil keputusan strategis dalam tata kelola lingkungan dan ekonomi sirkular nasional.

Denmark menawarkan bantuan transfer teknologi kepada negara-negara berkembang seperti Indonesia, karena menjadi salah satu negara pelopor dalam pengembangan energi terbarukan dan pengelolaan sampah. Kerja sama ini berfokus pada peningkatan kapasitas, pertukaran informasi, dan penerapan teknologi yang ramah lingkungan. Denmark tidak hanya menawarkan teknologi, tetapi juga menjadi mitra pembangunan yang aktif, membantu dalam penyusunan kebijakan, pelatihan SDM, dan pendampingan teknis untuk proyek berkelanjutan di bidang lingkungan hidup dan energi.

Salah satu bentuk nyata dari upaya ini adalah kolaborasi antara *Danish Energy Agency* dengan Kementerian ESDM dan KLHK, untuk membangun sistem pengelolaan sampah menjadi energi dan meningkatkan efisiensi energi di sektor industri dan perkotaan. *Danish International Development Assistance* (DANIDA) merupakan lembaga bantuan pembangunan Denmark yang aktif mendorong proyek energi terbarukan dan pengelolaan sampah melalui transfer pengetahuan. Selain itu, diplomasi hijau menggabungkan kepentingan ekonomi, lingkungan, dan geopolitik melalui transfer teknologi yang dibantu Denmark (Prakoso *et al.*, 2019). Pemerintah Denmark menyadari bahwa agenda pembangunan berkelanjutan memerlukan kerja sama antar negara. Oleh karena itu, Denmark mendorong model kolaborasi inklusif dengan kerja sama dengan Indonesia yang melibatkan sektor swasta, LSM, akademisi, dan pemerintah daerah. Metode ini tidak hanya meningkatkan jangkauan teknologi yang ditransfer, tetapi juga meningkatkan keberlanjutan proyek dalam jangka panjang karena didukung oleh ekosistem lokal yang kuat.

Sebagai bagian dari kerja sama Denmark dengan Indonesia dalam bidang energi terbarukan dan pengelolaan limbah, penyediaan pakar dan pelatihan teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) diperlukan. Pemerintah Denmark secara aktif mengirimkan

pakar terkemuka di bidang pengelolaan limbah dan energi terbarukan ke Indonesia melalui lembaga teknis dan kerja sama pembangunan. Para ahli memiliki banyak pengalaman dalam membangun, menerapkan, serta mengoptimalkan sistem RDF di banyak negara maju. Tujuan utama dari penyediaan tenaga ahli ini adalah untuk memberi pemangku kepentingan di Indonesia, termasuk pejabat pemerintah daerah, pengelola fasilitas pengolahan sampah, akademisi, dan pelaku industri energi, pengetahuan teknis dan pengalaman praktis.

Pelatihan yang diselenggarakan oleh para pakar Denmark dirancang secara sistematis dan berfokus pada praktik lapangan. Materinya mencakup seluruh tahapan pengolahan RDF, mulai dari pemilahan dan pengeringan sampah hingga pemanfaatan bahan bakar alternatif di industri semen atau pembangkit listrik. Aspek keselamatan kerja, efisiensi energi, dan keberlanjutan juga menjadi bagian penting dalam pelatihan tersebut. Di samping itu, Denmark juga memfasilitasi studi banding ke fasilitas RDF di Eropa agar peserta mendapatkan gambaran langsung mengenai penerapan teknologi tersebut. Melalui pendekatan praktis dan partisipatif, program ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan peserta dalam menerapkan teknologi RDF secara optimal dan sesuai dengan kebutuhan lokal di Indonesia.

Dengan bantuan pakar dan pelatihan, kerja sama ini tidak hanya meningkatkan kemampuan teknis Indonesia dalam mengelola sampah secara berkelanjutan, tetapi juga dapat membuka jalan untuk kolaborasi jangka panjang dalam pengembangan energi terbarukan (Dollan *et al.*, 2023). Mengingat volume sampah domestik yang tinggi dan masalah pengelolaan limbah yang kompleks, Denmark melihat potensi besar dalam penerapan teknologi RDF di Indonesia. Program pelatihan ini diharapkan dapat membantu mengubah sistem pengelolaan sampah Indonesia ke arah ekonomi sirkular yang lebih efisien dan ramah lingkungan jika mendapatkan dukungan teknis yang berkelanjutan. Selain itu, kerja sama ini menunjukkan komitmen kedua negara untuk mendukung target pembangunan berkelanjutan (SDGs), terutama dalam hal energi bersih, inovasi industri, dan penanganan perubahan iklim.

Melalui program pendanaan dan investasi strategis, pemerintah Denmark telah menunjukkan komitmennya untuk mendukung pengembangan proyek RDF di Indonesia melalui *Environmental Support Programme Phase 3 (ESP3)* pada tahun 2013-2018, dengan dana sebesar 270 juta DKK (50 juta USD). Pembangunan fasilitas RDF di TPA Tritih Lor, Cilacap, merupakan hasil kolaborasi pemerintah Denmark dengan KLHK, PUPR, Pemprov Jawa Tengah, dan Pemkab Cilacap (Fardian, 2024). Melalui bantuan sekitar Rp 44 miliar untuk pengadaan peralatan teknis, fasilitas ini mampu mengolah 120-150 ton sampah per hari dan menjadi model percontohan pengelolaan sampah berkelanjutan di Indonesia (SH, 2024).

Pemerintah Denmark juga mendukung pembangunan kapasitas di Indonesia melalui pelatihan teknis, lokakarya, dan program pendidikan bagi aparatur pemerintah serta operator fasilitas pengelolaan limbah. Melalui DANIDA, Denmark mendanai kegiatan berbasis praktik lapangan, studi banding ke fasilitas RDF di luar negeri, dan konsultasi teknis berkelanjutan (DEPA, 2023). Selain memperkuat aspek teknis, program ini juga meningkatkan pemahaman kebijakan dan tata kelola lingkungan melalui forum kebijakan, seminar, dan pengembangan modul edukasi, sehingga Indonesia memiliki kapasitas internal untuk mengelola sistem pengelolaan limbah secara berkelanjutan. Maka dari itu, dukungan Denmark tidak hanya berfokus pada penyediaan infrastruktur fisik saja, tetapi juga memperkuat kapasitas sumber daya manusia dan tata kelola lingkungan di tingkat nasional maupun daerah.

Teknologi *Refuse-Derived Fuel* sudah diterapkan di berbagai negara dengan dukungan internasional dan kebijakan yang berbeda. Di Jerman ada larangan membuang sampah organik dan sampah yang belum diolah ke TPA sejak tahun 2005 sehingga mendorong pengembangan fasilitas *mechanical biological treatment* (MBT) yang dapat menghasilkan RDF berkualitas tinggi untuk industri semen dan pembangkit listrik (Vielhaber, 2015). Jepang juga mengembangkan bahan bakar yang hampir sama dengan RDF yang bernama *Refuse Paper and Plastic Fuel* (RPF) dengan dukungan Kementerian Lingkungan untuk standarisasi kualitas dan rantai pasok, sehingga dapat digunakan secara konsisten oleh industri. Sedangkan di Vietnam, kebijakan nasional dan panduan teknis dari Kementerian Konstruksi pada 2020 memfasilitasi pemanfaatan RDF sebagai bahan bakar alternatif di kiln semen (Prof *et al.*, n.d.).

Berbeda dengan negara-negara tersebut, Denmark memilih Indonesia sebagai mitra karena volume sampah dengan jumlah yang besar, mencapai sekitar 68 juta ton setiap tahun, serta memiliki target untuk mencapai 23% energi terbarukan pada tahun 2025. Hubungan diplomatik yang baik, kerja sama lingkungan melalui program ESP3, dan keberadaan industri semen yang siap menggunakan RDF menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara yang paling berpotensi di Asia Tenggara untuk memaksimalkan manfaat dari transfer teknologi RDF.

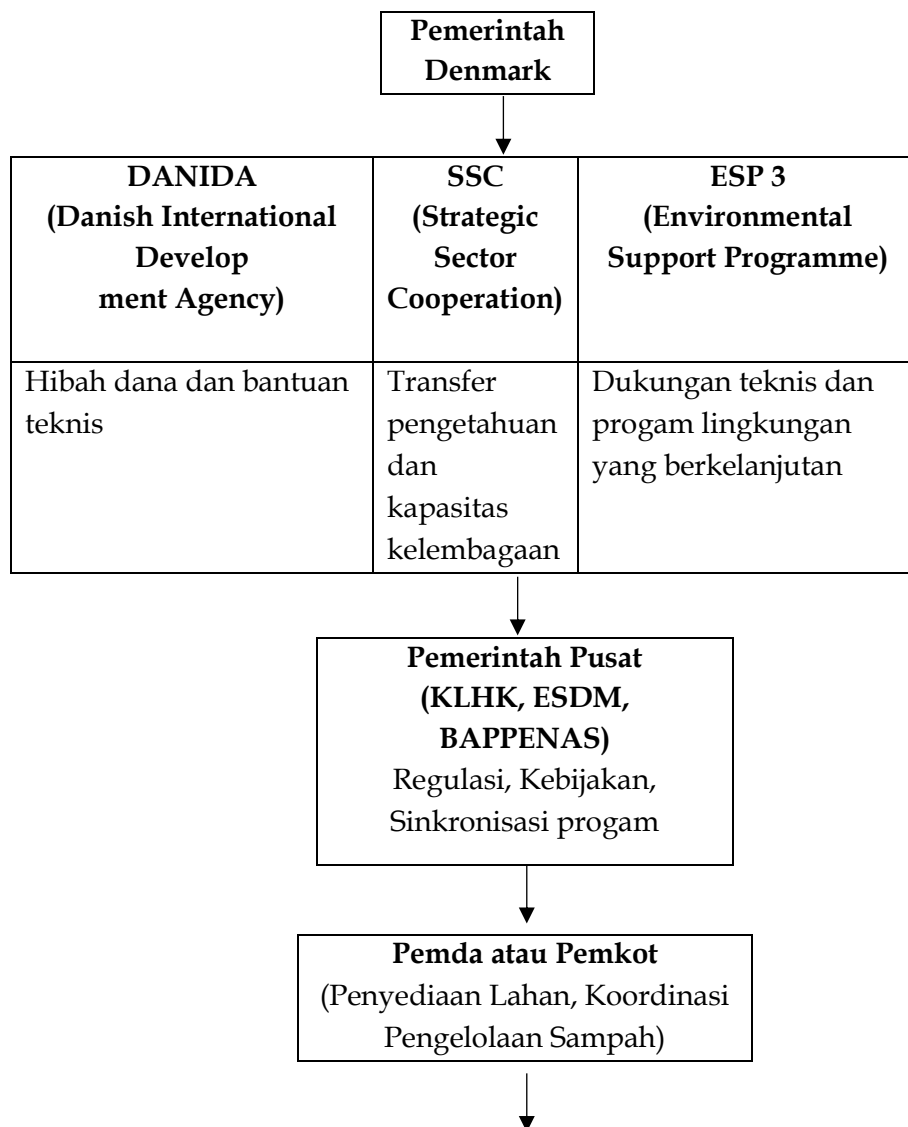
Implementasi Teknologi RDF di Indonesia

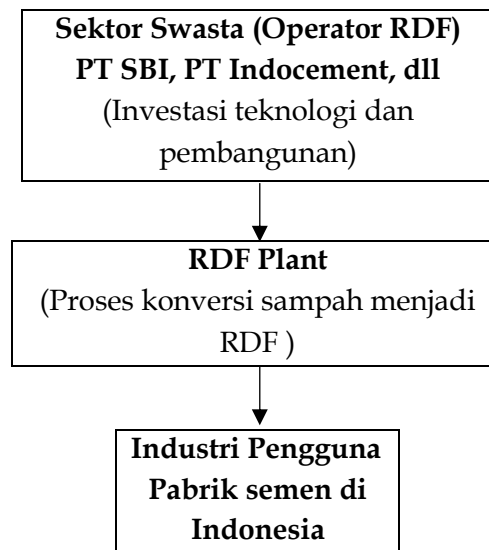
Implementasi teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) di Indonesia telah mendapatkan legitimasi melalui sejumlah kebijakan nasional, di antaranya Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 mengenai *Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga* serta Peraturan Presiden Nomor 35 Tahun 2018 tentang *Pembangunan Instalasi Pengolahan Sampah Menjadi Energi Listrik* (Pemerintah *et al.*, 2019). Di tingkat daerah, komitmen tersebut diperkuat dengan penerbitan regulasi turunan seperti Peraturan

Gubernur DKI Jakarta Nomor 102 Tahun 2021 yang menjadi dasar pembangunan fasilitas RDF di Bantargebang (Pergub, 2021).

Pelaksanaan program RDF melibatkan berbagai lembaga pemerintah, antara lain Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), serta Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) di tingkat pusat, dan pemerintah provinsi maupun kabupaten/kota di tingkat daerah. Sementara itu, aspek teknis dan operasional dijalankan oleh sektor swasta seperti PT Solusi Bangun Indonesia (SBI), PT Indocement, dan PT Wijaya Karya (WIKA).

Gambar 1. Alur Implementasi Kerja Sama





Sumber : Data Olahan Penulis

Implementasi teknologi *Refuse Derived Fuel* (RDF) meliputi pemilihan lokasi proyek, proses konversi RDF, serta kolaborasi antara Pemerintah Denmark dan pemerintah daerah di Indonesia. Pemerintah Denmark tidak secara langsung mengimplementasikan atau mengoperasikan RDF di Indonesia, melainkan berperan melalui dukungan berupa hibah pendanaan, transfer teknologi, serta memberikan bantuan teknis melalui program *Danish International Development Agency* (DANIDA), *Strategic Sector Cooperation* (SSC) dan *Environmental Support Programme* (ESP 3) (Hendarsh, 2023).

Pemerintah pusat (KLHK, ESDM, Bappenas) berperan dalam menetapkan regulasi, kebijakan, dan sinkronisasi program. Sementara pemerintah daerah menangani penyediaan lahan, operasional, dan koordinasi lokal. Pelaksanaan teknis dilakukan sektor swasta seperti PT SBI dan sejumlah kontraktor nasional melalui investasi teknologi dan pengoperasian RDF. Hasil RDF kemudian dimanfaatkan oleh industri pengguna, terutama pabrik semen sebagai energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan batu bara dan menekankan volume sampah. Dengan demikian, pengembangan RDF di Indonesia merupakan hasil dari kolaborasi, di mana Denmark berperan sebagai mitra pendukung bukan sebagai pelaksana utama.

Pemilihan Lokasi Proyek RDF di Indonesia

Pemilihan lokasi proyek percontohan untuk implementasi teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) di Indonesia didasarkan pada identifikasi wilayah dengan volume sampah yang tinggi, Infrastruktur yang mendukung serta adanya dukungan

kebijakan dan potensi kolaborasi lintas sektor. Teknologi tersebut dapat mengubah sampah menjadi bahan bakar alternatif, dan ideal untuk diterapkan di kota-kota besar yang mengalami tekanan tinggi terhadap kapasitas Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Beberapa wilayah yang sudah beroperasi dalam menggunakan teknologi RDF meliputi Cilacap (Jeruk Legi), Jakarta (Rorotan), Yogyakarta (Nitikan), Bandung (Sari Mukti dan Babakan Siliwangi), DKI Jakarta (Bantar Gebang), dan Tangerang Banten (Rawa Kucing).

Pemerintah Kabupaten Cilacap mulai mengoperasikan fasilitas RDF pada Juli 2020 di TPST Jeruklegi, Tritih Lor, sebagai proyek percontohan pertama di Indonesia. Inisiatif ini merupakan hasil dari kolaborasi antara Pemkab Cilacap dengan PT Solusi Bangun Indonesia (SBI), Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian PUPR, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, serta dukungan dari Pemerintah Denmark. Teknologi yang digunakan adalah *bio-drying* berbasis metode *mechanical-biological*, yaitu proses pemilahan, pencacahan, dan pengeringan sampah segar sebanyak 120-160 ton per hari menjadi RDF sekitar 40-70 ton per hari (Maghfuri, 2022). RDF kemudian dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif di pabrik semen milik SBI di Cilacap. Hingga pertengahan 2021, fasilitas ini telah berhasil mengolah sekitar 47.000 ton sampah, menjadi model pengelolaan limbah yang menggabungkan aspek ekonomi dan keberlanjutan lingkungan.

Strategi pengembangan RDF di Cilacap dilaksanakan secara bertahap, dimulai dengan kolaborasi berbagai pihak seperti PT Solusi Bangun Indonesia (SBI), Unilever, dan program CSR, serta dukungan regulasi dan pendanaan dari pemerintah daerah. Tahap selanjutnya berfokus pada peningkatan kapasitas pengolahan dari 120 ton menjadi 200 ton per hari, termasuk penambahan teknologi *bio-drying* dan armada pengangkut (S. A. Rachman *et al.*, 2020). Tahap ketiga memperkuat sistem pengelolaan sampah berbasis masyarakat melalui bank sampah dan pemilahan dari sumbernya. Optimalisasi sosial dan lingkungan juga dilakukan dengan mengubah TPST lama menjadi taman edukasi lingkungan (eco-edupark) dan menjalankan program Kampung Iklim (Proklam), sehingga strategi RDF Cilacap mencerminkan pendekatan terpadu yang menggabungkan teknologi, kebijakan, dan partisipasi masyarakat untuk mendukung ekonomi sirkular dan energi berkelanjutan.

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta mulai membangun fasilitas *Refuse-Derived Fuel* (RDF) di Rorotan, Jakarta Utara, sejak Mei 2024 sebagai solusi untuk mengurangi beban sampah yang selama ini ditampung di TPA Bantargebang. Fasilitas ini dirancang untuk mengolah hingga 2.500 ton sampah per hari, atau sekitar 30% dari total sampah harian di Jakarta. Fasilitas ini dilengkapi dengan sistem pengendali emisi, pengolahan air limbah, dan pemantauan kualitas udara untuk memastikan operasionalnya ramah lingkungan. Dari jumlah tersebut, sekitar 875 ton akan diubah menjadi bahan bakar alternatif (RDF), sementara sisanya berupa limbah residu,

material daur ulang, dan air lindi (WIKI, 2024). Proyek ini dibangun oleh PT Wijaya Karya (WIKI) dengan teknologi canggih dari berbagai negara dan pendanaan sebesar Rp1,28 triliun yang berasal dari APBD DKI Jakarta tahun 2024. Uji coba operasional telah dilakukan pada akhir Februari 2025, dan fasilitas ini ditargetkan mulai beroperasi penuh pada Juli 2025 (Kumala, 2025).

Pemerintah Kota Yogyakarta mulai mengoperasikan fasilitas pengolahan sampah menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF) di TPS 3R Nitikan sejak April 2024, sebagai bagian dari strategi desentralisasi setelah operasional TPA Piyungan dihentikan karena akibat kelebihan kapasitas. Dengan produksi sampah harian kota yang mencapai 180-200 ton, fasilitas ini mampu mengolah sekitar 75 ton sampah per hari, menghasilkan sekitar 35 ton RDF yang langsung dapat digunakan, sementara sisanya perlu dikeringkan lebih lanjut atau menjadi limbah residu. Pengolahan dilakukan dengan sistem *conveyor* untuk pemilahan, mesin pencacah (*gibrig*), *ghf* dan proses pengeringan alami. RDF yang dihasilkan dikirim ke pabrik semen milik PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) di Cilacap, Kendal, dan Pasuruan melalui kerja sama formal yang telah dijalin sebelumnya.

Proyek RDF ini dibiayai oleh APBD Kota Yogyakarta, ditambah dukungan dari Dana Keistimewaan DIY serta kerja sama dengan sektor swasta. Selain TPS 3R Nitikan, dua fasilitas baru di Karangmiri dan Kranon juga sedang dikembangkan dan direncanakan mulai beroperasi pada Mei 2024. Pemerintah kota juga mendorong pemilahan sampah sejak dari rumah tangga, edukasi masyarakat tentang *zero waste*, dan optimalisasi kapasitas produksi melalui sistem kerja dua shift dan penggunaan enam unit mesin RDF. Langkah ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada TPA, memperkuat ekonomi sirkular, serta menjadikan Yogyakarta sebagai pionir dalam pengelolaan sampah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan (Warta, 2024).

Pemerintah Provinsi Jawa Barat mulai mengoperasikan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPST Sarimukti sejak pertengahan 2023. Dengan volume sampah harian sekitar 46.000 ton dari beberapa kota/kabupaten, fasilitas ini mampu memproduksi 40-50 ton RDF per hari, yang kemudian dikirim ke industri semen dan pabrik lokal melalui kerja sama formal yang telah dijalin sebelumnya. Sementara itu, TPST Babakan Siliwangi mulai beroperasi pada 2024 dengan kapasitas pengolahan 20 ton sampah per hari dan menghasilkan sekitar 6 ton RDF, sebagian sudah langsung digunakan untuk industri tekstil lokal, sedangkan sisanya memerlukan pengeringan tambahan (Nethania, 2024).

Proyek RDF ini dibiayai melalui APBD Provinsi Jawa Barat dan Kota Bandung, serta kerja sama dengan sektor swasta, seperti PT Jasa Medinvest, dan dukungan lembaga internasional melalui program ISWMP dari Bank Dunia (Kementrian PU,

2025). Pemerintah juga mendorong edukasi masyarakat tentang pemilahan sampah dari rumah tangga, pengurangan residu, dan optimalisasi kapasitas produksi RDF.

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta mengoperasikan fasilitas pengolahan *Refuse Derived Fuel* (RDF) di TPST Bantar gebang sejak awal 2023. Dengan kiriman sampah harian dari Jakarta sekitar 7.500 ton, fasilitas ini mampu mengolah 2.000 ton sampah per hari dan menghasilkan 700-750 ton RDF yang digunakan sebagai bahan bakar di industri semen seperti PT SBI dan PT Indocement (Putri & Sari, 2024). Proses pengolahan meliputi pemilahan, pencacahan, dan pengeringan menggunakan sistem conveyor modern. Proyek strategis nasional ini didanai oleh APBD DKI Jakarta sebesar Rp 1,2 triliun dan bekerja sama dengan mitra industri dan teknologi.

Kebijakan ini dilandasi oleh Pergub DKI Jakarta No. 102 Tahun 2021 dan mencakup pembangunan fasilitas RDF, edukasi masyarakat, serta penguatan pengumpulan sampah terpilah. Pemerintah menargetkan untuk mengurangi ketergantungan pada tempat pembuangan akhir (TPA) hingga 50% dalam kurun waktu lima tahun mendatang. RDF Bantargebang, menjadi model pengelolaan sampah berbasis energi yang dapat diterapkan di berbagai wilayah di Indonesia.

Pemerintah Kota Tangerang mengoperasikan fasilitas pengolahan sampah berbasis *Refuse Derived Fuel* (RDF) di TPST Rawa Kucing sejak Desember 2024 sebagai bagian dari strategi pengelolaan sampah berkelanjutan dan desentralisasi limbah. Kota Tangerang yang menghasilkan sekitar 1.500-1.600 ton sampah per hari menghadapi keterbatasan kapasitas TPA, sehingga RDF menjadi solusi untuk mengurangi volume sampah sekaligus meningkatkan pemanfaatan residu (Khoirunnisaa, 2024). Dua mesin RDF di TPST ini mampu mengolah sekitar 50 ton sampah per hari dan menghasilkan 25-30 ton RDF, yang dikirim ke PT Solusi Bangun Indonesia sebagai bahan bakar industri dengan harga jual Rp 300.000 per ton. Produksi RDF terus meningkat hingga mencapai 62,5 ton per hari pada Juni 2025, dengan total produksi lebih dari 116 ton sejak operasional dimulai.

Pemerintah Kota Tangerang bekerja sama dengan PT Solusi Bangun Indonesia (SBI) untuk memasarkan RDF sebagai bahan bakar alternatif industri semen seharga Rp300.000 per ton (Mardiansyah, 2025). Strategi yang diterapkan meliputi pemilahan sampah dari sumber, edukasi publik oleh DLH, serta kolaborasi lintas sektor. Penataan landfill dilakukan melalui terrasering, penghijauan, dan resirkulasi air lindi guna memperpanjang umur TPA dan mengurangi dampak lingkungan.

Proses Konversi Sampah Menjadi RDF dan Infrastruktur Pendukungnya

Refuse-Derived Fuel (RDF) menjadi salah satu solusi teknologi yang berkembang pesat dalam upaya mitigasi krisis sampah dan pengembangan energi terbarukan. RDF adalah bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari pengolahan sampah padat, terutama limbah non-organik dan tidak dapat didaur ulang, dengan nilai kalor tinggi

seperti plastik, kertas, tekstil, dan karet. Proses konversi sampah menjadi RDF dimulai dengan tahap pemilahan (*pre-sorting*) untuk memisahkan limbah organik dan material daur ulang dari fraksi yang dapat dikonversi menjadi RDF. Tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa hanya limbah dengan karakteristik nilai kalor yang memenuhi syarat yang akan diproses ke tahap selanjutnya.

Setelah proses pemilahan, sampah melewati tahap pencacahan (*shredding*) dan pengeringan (*drying*) untuk mengurangi kadar air, karena RDF yang efektif harus memiliki kadar air di bawah 20% agar pembakarannya efisien dan tidak menghasilkan emisi berlebih. Selanjutnya, dilakukan proses homogenisasi untuk memastikan bahwa ukuran dan konsistensi bahan seragam, meningkatkan kualitas pembakaran, serta memudahkan transportasi dan penyimpanan. Hasil akhir dari proses ini berupa material padat berbentuk serpihan (*flakes*), butiran (*granules*), atau pelet yang siap digunakan sebagai bahan bakar pengganti batubara pada industri semen, pembangkit listrik, maupun boiler industri.

Keunggulan teknologi RDF tidak hanya memberikan manfaat dalam pengelolaan sampah, tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca, khususnya metana (CH_4) yang berasal dari dekomposisi sampah di tempat pembuangan akhir (TPA) dan pembakaran terbuka. Di samping itu, RDF memiliki nilai kalor antara 15-25 MJ/kg, mendekati nilai kalor batubara kelas menengah, menjadikannya alternatif energi yang kompetitif dan ramah lingkungan (UNEP, 2019). Menurut data dari UNDP Indonesia dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2022), penerapan RDF di proyek percontohan seperti RDF Plant Cilacap mampu mengolah 162 ton sampah per hari dan menghasilkan 50-60 ton RDF yang digunakan langsung oleh pabrik semen PT Solusi Bangun Indonesia. Inisiatif ini berhasil mengurangi emisi karbon hingga 30% dibandingkan penggunaan batubara murni.

Dengan semakin meningkatnya urgensi pengelolaan sampah dan transisi menuju energi bersih, RDF menjadi salah satu pendekatan strategis dalam implementasi ekonomi sirkular. Teknologi ini tidak hanya mengurangi beban TPA tetapi juga memungkinkan pemerintah daerah untuk membangun model bisnis pengelolaan sampah yang berkelanjutan yang bergantung pada energi. Permasalahan seperti keterbatasan teknologi lokal, kebutuhan investasi yang besar, dan kurangnya regulasi teknis RDF di Indonesia masih menjadi tantangan akan hal tersebut (GIZ, 2021).

Keberhasilan implementasi teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) bergantung pada ketersediaan dan kesiapan infrastruktur pendukung yang terintegrasi secara teknis dan kelembagaan. Infrastruktur ini terdiri dari berbagai fasilitas, termasuk tempat pengumpulan dan pemilahan sampah, unit pengolahan mekanis-biologis (*Mechanical-Biological/MBT*), sistem pencacahan (*shredding*), pengeringan termal dan

unit homogenisasi yang menghasilkan RDF siap pakai. Salah satu aspek penting dalam tahapan ini adalah *Material Recovery Facility* (MRF), yang berfungsi untuk memilah sampah menjadi komponen yang dapat didaur ulang serta jenis sampah yang memiliki nilai kalor tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai RDF. Seluruh proses ini memerlukan dukungan sistem transportasi dan logistik sampah yang efisien agar aliran limbah ke fasilitas RDF dapat berlangsung secara berkelanjutan dan ekonomis.

Selain itu, fasilitas *RDF Plant* perlu dilengkapi dengan teknologi pengendalian emisi serta sistem pemantauan lingkungan untuk memastikan bahwa proses konversi tidak menimbulkan dampak negatif terhadap kualitas udara, tanah, maupun air. Infrastruktur pendukung lainnya mencakup konektivitas dengan industri pengguna akhir seperti pabrik semen atau Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang telah mengadopsi sistem *co-firing* yaitu pembakaran campuran batubara dan RDF dalam boiler industri.

Berdasarkan laporan UNDP Indonesia (2022) serta dokumen teknis dari Kementerian PUPR dan KLHK, pengembangan infrastruktur RDF harus dibarengi dengan adanya regulasi yang jelas, mekanisme pembiayaan yang berkelanjutan, dan model kemitraan antara sektor publik dan swasta (*Public-Private Partnership/PPP*) guna untuk memastikan pemerataan pembangunan dan keberlanjutan operasional jangka panjang. Infrastruktur RDF juga tidak dapat dikembangkan secara terpisah dari kebijakan nasional terkait pengelolaan sampah, sistem pengelolaan limbah di tingkat daerah, serta keterlibatan masyarakat dalam kegiatan pemilahan sampah dari sumbernya. Oleh karena itu, pembangunan fasilitas RDF menjadi bagian penting dalam menciptakan ekosistem energi terbarukan berbasis limbah yang berkelanjutan dan berwawasan lingkungan di Indonesia.

Kolaborasi antara pemerintah Denmark dan pemerintah daerah di Indonesia menunjukkan bentuk kolaborasi lintas negara yang strategis dan terintegrasi, terutama dalam mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan yang didasarkan pada pendekatan ekonomi sirkular. Pengembangan RDF Plant di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah sebagai contoh proyek percontohan nasional untuk mengolah sampah kota menjadi bahan bakar alternatif untuk industri. Proyek ini merupakan bagian dari *Environmental Support Programme Phase 3* (ESP3), yang didukung oleh *Danish International Development Agency* (DANIDA) dan dijalankan melalui mekanisme *Strategic Sector Cooperation* (SSC) antara *Danish Environmental Protection Agency* (DEPA) dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Republik Indonesia (Denmark, 2020).

Pemerintah Denmark berperan aktif dalam menyediakan bantuan teknis, dukungan kelembagaan, dan pendanaan studi kelayakan hingga perancangan sistem

RDF yang disesuaikan dengan karakteristik lokal. Melalui program peningkatan kapasitas, Denmark juga memberikan pelatihan lapangan kepada aparaturnya daerah dan operator teknis. Kolaborasi ini menghasilkan pembangunan fasilitas RDF Cilacap yang mampu mengolah hingga 160 ton sampah per hari dan menghasilkan sekitar 50 ton RDF per hari sebagai bahan bakar alternatif untuk industri semen oleh PT Solusi Bangun Indonesia, dengan nilai kalor 3.800-4.200 kkal/kg Indonesia (Erawan, 2022).

Pemerintah Kabupaten Cilacap juga memastikan keberhasilan proyek dengan menyediakan lahan, menetapkan kebijakan lokal terkait pengangkutan dan pemilahan sampah, serta memperkuat regulasi yang mendorong keterlibatan sektor informal. Pembiayaan proyek dirancang secara kolaboratif melalui APBD, kontribusi swasta, dan mitra internasional, serta melibatkan organisasi masyarakat sipil dalam kegiatan edukasi lingkungan.

Dampak Positif dalam Implementasi Teknologi RDF di Indonesia

Penerapan teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) terbukti memberikan pengaruh nyata terhadap pengurangan volume sampah dan emisi karbon di berbagai daerah di Indonesia. Contoh nyata yaitu, RDF Plant di Cilacap mampu mengolah hingga 160 ton sampah per hari menjadi 60 ton RDF yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif di industri semen, sehingga menurunkan konsumsi batu bara hingga 4-5%. Program ini juga berhasil mengurangi emisi karbon sekitar 30% dibandingkan penggunaan bahan bakar konvensional. Di wilayah DKI Jakarta, penerapan RDF di Bantargebang dan Rorotan juga ditujukan untuk mengurangi ketergantungan pada TPA hingga 50% dalam lima tahun ke depan. Implementasi RDF tidak hanya menurunkan volume sampah, tetapi juga mendorong ekonomi sirkular dan menciptakan lapangan kerja baru di sektor lingkungan.

Pemanfaatan sampah sebagai sumber energi berkontribusi dalam mengurangi beban di tempat pembuangan akhir (TPA), mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil, serta memperkuat upaya nasional dalam menanggulangi perubahan iklim. Di samping itu, integrasi RDF dalam sistem pengelolaan limbah turut menciptakan peluang kerja baru dan mengangkat nilai ekonomis dari sampah yang sebelumnya tidak dimanfaatkan. Bagian berikut akan membahas secara rinci dampak positif yang dihasilkan dari penerapan teknologi RDF, baik dari segi lingkungan maupun ekonomi.

Penggunaan teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) dalam pengurangan volume sampah tidak hanya menjadi solusi atas keterbatasan kapasitas tempat pembuangan akhir (TPA), tetapi juga memberikan kontribusi besar terhadap upaya pelestarian lingkungan. Dengan mengolah sampah menjadi bahan bakar alternatif, teknologi ini dapat menurunkan emisi gas rumah kaca yang biasanya dihasilkan dari pembusukan

sampah di TPA, serta mengurangi potensi pencemaran air dan tanah yang disebabkan oleh rembesan lindi. Sebagai contoh, fasilitas RDF di Cilacap mampu mengolah sekitar 120 ton sampah harian menjadi 60 ton RDF, yang menggantikan sekitar 4-5% konsumsi batu bara di pabrik semen PT Solusi Bangun Indonesia (Pramita Tristiawati, 2024).

Tantangan Implementasi Teknologi RDF di Indonesia

Beberapa tantangan utama yang perlu diperhatikan dalam implementasi teknologi RDF melibatkan aspek pendanaan, kesadaran masyarakat, kebijakan, serta operasional teknis. Keterbatasan anggaran menjadi salah satu hambatan utama, mengingat bahwa pembangunan dan fasilitas RDF memerlukan dana yang cukup besar dan berkelanjutan. Di sisi lain, rendahnya tingkat pemahaman masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah dan pemanfaatan energi terbarukan menghalangi partisipasi aktif dalam sistem RDF.

Selain itu, masalah regulasi menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi RDF di Indonesia. Dimana sering terjadi ketidaksesuaian atau tumpang tindih antara kebijakan pemerintah pusat dan daerah yang menghambat penerapan teknologi RDF secara menyeluruh. Misalnya, Perpres Nomor 97 Tahun 2017 mengatur strategi nasional pengelolaan sampah rumah tangga secara umum, Perpres Nomor 35 Tahun 2018 berfokus pada pembangunan instalasi pengolahan sampah menjadi listrik, dan Perpres Nomor 83 Tahun 2018 menekankan pengelolaan sampah laut (Sari & Meilani, 2025). Meskipun ketiganya memberi pedoman mengenai kebijakan nasional, sering kali tidak sejalan dengan aturan daerah, sehingga menghambat pelaksanaan proyek RDF. Untuk menggali lebih dalam tentang tantangan-tantangan tersebut, pembahasan berikut akan menjelaskan secara lebih rinci faktor-faktor yang menghambat optimalisasi teknologi RDF.

Salah satu kendala utama implementasi teknologi RDF adalah keterbatasan anggaran, karena pembangunan dan operasional fasilitas ini membutuhkan investasi besar. Menurut penelitian dari Sembiring *et al.* (2020) bahwa biaya pembangunan fasilitas RDF dapat mencapai angka jutaan dolar, dan masih ditambah biaya operasional untuk pengumpulan, pemilahan, serta pemeliharaan peralatan dan tenaga kerja yang kompeten. Oleh karena itu, diperlukan kolaborasi antara sektor publik dan swasta guna memastikan pendanaan dan keberlanjutan proyek pengolahan sampah berbasis RDF.

Di bandingkan dengan negara lain, biaya pembangunan RDF di Indonesia jauh lebih kecil dan kapasitasnya juga masih terbatas. Sebagai contoh, RDF Plant di Cilacap (2020) dibangun dengan biaya 90 miliar dan mampu mengolah ± 120 ton sampah per hari menjadi ± 50 ton RDF, dan masih bergantung pada kolaborasi

pemerintah pusat, pemerintah daerah, serta dukungan teknis dari Denmark (Paramita *et al.*, 2018). Di mana 44 miliar berasal dari hibah pemerintah Denmark melalui DANIDA sementara sisanya ditanggung Kementerian PUPR, Pemerintah Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, Pemerintah Kabupaten Cilacap, serta PT Solusi Bangun Indonesia sebagai pihak industri semen yang menggunakan RDF (Perto, 2024).

Sebaliknya, negara-negara lain telah menginvestasikan dana jauh lebih besar dengan sistem pendanaan yang mandiri. Denmark membangun *ARC-Copen Hill* dengan biaya $\pm$ € 590 juta (Rp 10,6 triliun) yang berkapasitas 400.000 ton per tahun, menggunakan pajak lingkungan dan tarif sampah (Kamuk, 2019). Di Jerman, biaya pembangunan rata-rata € 100-200 juta (Rp $\pm$ 1,8-3,6 triliun) dengan kapasitas di atas 200.000 ton per tahun dan dibiayai oleh pemerintah dan retribusi sampah. Jepang melalui RDF Power Plant di Ōita mengalokasikan Rp $\pm$ 1,16 triliun dengan kapasitas 100.000 ton per tahun melalui subsidi pemerintah dan industri (Seifert, 2009). Italia juga memiliki fasilitas RDF di Lazio dan Lombardia dengan biaya Rp $\pm$ 2,7 triliun dan kapasitas 150.000 ton per tahun. Dan India memiliki fasilitas RDF di Hyderabad dan Delhi dengan biaya sekitar Rp 160-320 miliar dengan kapasitas 500-1.000 ton per hari dan pendanaannya melalui kerja sama swasta, anggaran pemerintah kota, serta dukungan pemerintah pusat (Saha *et al.*, 2017)

Meskipun biaya pembangunan RDF di Indonesia relatif lebih rendah dibandingkan negara lain, tantangan besar tetap dihadapi pemerintah daerah ketika tidak ada dukungan internasional. Sebaliknya, negara-negara maju seperti Denmark, Jerman, Jepang, dan Italia mampu membiayai pembangunan RDF secara mandiri dalam skala besar sehingga keberlanjutan fasilitas mereka lebih terjamin. Oleh karena itu, hibah yang diberikan Denmark memiliki nilai strategis, tidak hanya sebagai bantuan finansial, tetapi juga sebagai faktor yang mempercepat penerapan teknologi RDF di Indonesia.

Tingkat kesadaran masyarakat dalam mengelola sampah secara berkelanjutan dan memanfaatkannya sebagai energi terbarukan seperti RDF masih cukup rendah. Sebagian besar belum memahami dampak buruk sampah terhadap lingkungan, seperti timbunan sampah organik yang menghasilkan gas metana (CH₄) penyebab pemanasan global, sampah plastik yang mencemari tanah dan laut serta mengancam kelestarian ekosistem, hingga sampah yang menutup aliran air dan menyebabkan banjir (Aditya *et al.*, 2025). Kebiasaan membuang sampah sembarangan, baik ke sungai, lahan terbuka, maupun dengan cara dibakar dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berdampak pada kesehatan. Oleh karena itu, edukasi dan sosialisasi berkelanjutan mengenai bahaya sampah dan manfaat teknologi RDF sangat

diperlukan untuk mendorong keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan sampah berkelanjutan.

Implementasi teknologi RDF juga dipengaruhi oleh regulasi dan kebijakan yang ada di tingkat nasional dan daerah. Salah satu tantangan utama yang sering dihadapi yaitu kurangnya harmonisasi antara kebijakan pemerintah pusat dan daerah, yang seringkali menghasilkan kebijakan yang tidak sinkron dalam hal pengelolaan sampah dan energi terbarukan. Kebijakan yang tidak terkoordinasi dapat menghambat upaya pengembangan dan penerapan teknologi RDF di daerah-daerah tertentu. Misalnya, pemerintah pusat dapat mengeluarkan kebijakan untuk mendukung energi terbarukan, namun implementasi di tingkat daerah sering terhambat oleh ketidaksesuaian dalam peraturan daerah atau kekurangan sumber daya untuk mendukung kebijakan tersebut.

Oleh karena itu, diperlukan upaya yang lebih besar untuk menyelaraskan kebijakan di tingkat nasional dan daerah, serta meningkatkan koordinasi antara berbagai lembaga pemerintah yang terkait. Langkah ini penting untuk menciptakan lingkungan yang kondusif bagi pengembangan teknologi RDF dan mendorong keberlanjutan energi terbarukan di tingkat lokal.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan agar interpretasi hasil tetap seimbang. Pendekatan kualitatif berbasis studi literatur membuat analisis bergantung pada ketersediaan dan keakuratan data sekunder. Terbatasnya akses ke dokumen resmi, seperti perjanjian kerja sama, laporan pendanaan, dan evaluasi teknis di lapangan, membatasi kedalaman pembahasan aspek kebijakan dan ekonomi. Selain itu, ketiadaan data primer, baik dari wawancara dengan pemangku kepentingan maupun pengukuran langsung dampak lingkungan, menjadikan analisis kontribusi kerja sama bilateral terhadap peningkatan kapasitas pengelolaan sampah dan energi terbarukan bersifat deskriptif.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengombinasikan pendekatan *mixed-method* dengan pengumpulan data primer melalui wawancara, survei, dan observasi lapangan pada fasilitas RDF, serta melaksanakan studi longitudinal di berbagai wilayah guna menilai keberlanjutan penerapan teknologi RDF terhadap efisiensi energi, pengurangan emisi, dan pemberdayaan ekonomi lokal. Pada tingkat kelembagaan, penelitian mendatang perlu mengeksplorasi model tata kelola multi-level antara pemerintah pusat, daerah, dan mitra asing, menilai efektivitas skema pembiayaan publik-swasta (PPP), serta memperhatikan aspek sosial dan keadilan, termasuk dampak terhadap pekerja sektor informal, kesetaraan gender, dan persepsi masyarakat terhadap teknologi RDF. Selain itu, pengembangan standar indikator kinerja dan sistem data terbuka diperlukan

untuk meningkatkan transparansi, akuntabilitas, serta replikasi kebijakan yang berkelanjutan di masa depan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menemukan bahwa teknologi *Refuse-Derived Fuel* (RDF) telah diterapkan di beberapa negara dengan model dan kapasitas yang berbeda. Denmark, Jerman, Jepang, Italia, Vietnam mengembangkan RDF dalam kapasitas besar dengan standar kualitas yang jelas serta pendanaan mandiri melalui pajak lingkungan, tarif sampah, atau subsidi pemerintah. Hal ini menunjukkan bahwa di negara-negara maju, RDF telah menjadi bagian dari strategi nasional dalam pengelolaan sampah dan transisi energi.

Indonesia mulai menerapkan RDF sejak tahun 2020 melalui proyek percontohan di Cilacap. Berbeda dengan negara maju, fasilitas RDF di Indonesia masih berskala kecil dan bergantung pada hibah dukungan teknis dari Pemerintah Denmark, melalui program ESP dan DANIDA. Namun, kesamaanya dengan negara lain terletak pada fungsi RDF yang sekaligus mengurangi timbunan sampah dan menyediakan energi alternatif yang ramah lingkungan.

Perbedaan utama Indonesia dengan negara-negara maju terletak pada aspek pendanaan dan kapasitas kelembagaan. Sedangkan, negara maju sudah mandiri dalam hal tersebut. Selain itu, pengembangan RDF di Indonesia masih bergantung pada hibah luar negeri dan regulasi nya belum sejalan antar pemerintah pusat dan daerah. Kondisi ini berbeda dengan negara maju yang sudah memiliki standar teknis dan instrumen hukum konsisten.

Dengan demikian, temuan penelitian ini menegaskan bahwa kerja sama antara Indonesia dan Denmark dalam bidang RDF tidak hanya memberikan manfaat praktis melalui proyek percontohan, tetapi juga membuka peluang bagi transformasi sistem pengelolaan sampah nasional. Tantangan selanjutnya bagi Indonesia adalah memperluas skala RDF secara mandiri, menyelaraskan regulasi pusat dan daerah, serta mendorong partisipasi masyarakat agar RDF dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam pengelolaan sampah dan transisi energi.

REFERENCES

- Aditya, A. Y., Susanto, D., Peryanto, A., & Widodo, Y. F. (2025). Edukasi Bijak Kelola Sampah untuk Masa Depan Berkelanjutan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*. <https://doi.org/https://doi.org/10.59837/jpmba.v2i12.2022>
- Defi Setiawati, A., & Subagyo, T. (2025). Kerja Sama Indonesia Dengan Denmark Dalam Pelestarian Lingkungan Hidup Tahun 2017 - 2020. *Jurnal Mahasiswa Program Studi Ilmu Hubungan Internasional- Fisip- Unjani*, 02(April), 1-15.
-

- Denmark. (2020). *Indonesia - Denmark Plan of Action (2021-2024): A Sustainable Strategic Partnership for the Future*.
- DEPA. (2023). *Project Document for Strategic Sector Cooperation in Circular Economy and Waste Management – Phase II* (Issue June). <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwils7fz5v-EAxUzR2cHHRVKCTEQFnoECCMQAQ&url=https%3A%2F%2Feng.mst.dk%2Fmedia%2Fswyjtjr%2Fproject-document-indonesia-environment-ssc-phase-ii.pdf&usg=AOvVaw091NN0G43LIF4>
- Dewi, K. A. (2021). Kepentingan Denmark dalam Pemberian Bantuan Lingkungan terhadap Indonesia Melalui Environmental Support Programme Phase III (ESP3). *Jurnal Ilmu Sosial Indonesia (JISI)*, 2(1), 51–61. <https://doi.org/10.15408/jisi.v2i1.23042>
- Dollan, E., Ramadhan, B. D. K., & Abrina, N. (2023). Assessing the Outcomes of Circular Economy and Waste Management Partnerships between Indonesia and Denmark. *IAIC Transactions on Sustainable Digital Innovation (ITSDI)*, 5(1), 76–83. <https://doi.org/10.34306/itsdi.v5i1.609>
- Enandini, R. K. (2024). *Indonesia Urutan ke Lima Dunia Penghasil Sampah Plastik*. RRI. <https://rri.co.id/daerah/597027/indonesia-urutan-ke-lima-dunia-penghasil-sampah-plastik>
- Enny Fathurachmi, A. P. (2022). Implementation Of Indonesia's Cooperation With Denmark In Waste Ma. *IJESSM*, 2(Juny), 101–115.
- Erawan, F. (2022). *PENGOLAHAN SAMPAH MENJADI REFUSE DERIVED FUEL (RDF) RDF PLANT CILACAP*. <https://www.scribd.com/document/603650594/RDF-Plant-Cilacap>
- Fardian, H. A. P. (n.d.). *Kolaborasi Indonesia-Denmark dalam Penerapan Teknologi RDF untuk Pengelolaan Sampah melalui Environmental Support Programme Phase 3 (ESP3)*.
- GIZ. (2021). *Assessment of Waste-to-Energy Implementation and RDF Opportunities in Southeast Asia*. GIZ. <https://www.giz.de/en/worldwide/66438.html>
- Hendarsh, F. S. (2023). *Kerja Sama Denmark-Indonesia: Implementasi Environmental Support Programme Phase 3 (ESP3) Dalam Pengelolaan Sampah Dengan Teknologi Refuse Derived Full (RDF)*. 3, 1–93. https://repository.uinjkt.ac.id/dspace/handle/123456789/76056%0Ahttps://repository.uinjkt.ac.id/dspace/bitstream/123456789/76056/1/FAJAR_SARIS_HENDARSH.FISIP.pdf
- Ibtisamah, N. (2022). *Bilateral Cooperation Central Java and Denmark in Waste Management (Kerjasama Bilateral Jawa Tengah dan Denmark dalam Pengolahan Limbah Sampah)*. December, 1–7.
-

- Kamuk, B. (2019). *Denmark's Amager Bakke Waste-to-Energy Plant: a Global Model of Sustainable Design & Efficiency*. The Planning Report. <https://www.planningreport.com/2019/08/14/denmarks-amager-bakke-waste-energy-plant-global-model-sustainable-design-efficiency>
- Kementrian PU. (2025). *Kementerian PU Terus Berperan Aktif Dalam Pengurangan dan Pengolahan Sampah*. Sahabat.Pu. <https://sahabat.pu.go.id/eppid/berita/detail/kementerian-pu-terus-berperan-aktif-dalam-pengurangan-dan-pengolahan-sampah>
- Khoirunnisaa, J. (2024). *Wajah Baru TPA Rawa Kucing, Terapkan Penelolaan Sampah Berkelanjutan*. Detiknews. <https://news.detik.com/berita/d-7689470/wajah-baru-tpa-rawa-kucing-terapkan-pengelolaan-sampah-berkelanjutan>
- Komarudin, D., Candra, E., & Nurdin, I. (2024). Dinamika Kebijakan Publik dan Inovasi Kecerdasan Buatan di. *Arus Jurnal Sosial Dan Humaniora (AJSH)*, 4(3), 1793-1803.
- Kumala, A. (2025). *No Title Minister sets July deadline for Rorotan RDF plant*. Antara Indonesia News Agency. <https://en.antaranews.com/news/362573/minister-sets-july-deadline-for-rorotan-rdf-plant>
- Luis F. Diaz; George M. Savage; Clarence G. Golueke. (2018). *Resource Recovery From Municipal Solid Wastes*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781351076371>
- Maghfuri, A. D. W. N. (2022). *Jurnal Inovasi Daerah Jurnal Inovasi Daerah*. 3(1), 76-90. <https://doi.org/10.566655/jid/v3i1.147>
- Mardiansyah, W. (2025). *Pemkot Tangerang Kirim 32 Ton RDF Olahan Sampah untuk Bahan Bakar Industri*. Metrotvnews.Com. <https://www.metrotvnews.com/read/Ky6C12Qm-pemkot-tangerang-kirim-32-ton-rdf-olahan-sampah-untuk-bahan-bakar-industri>
- Maulidayanti, E. M., Yuliani, M., Robbani, M. H., Wiharja, W., Hambali, E., & Setyaningsih, D. (2024). Evaluasi Produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan (Studi Kasus: RDF Plant di Kabupaten Cilacap). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(2), 179-189. <https://doi.org/10.55981/jtl.2024.1008>
- Mustaghfiroh, U., Ni'mah, L. K., Sundusiyah, A., Addahlawi, H. A., & Hidayatullah, A. F. (2020). Implementasi Prinsip Good Environmental Governance Dalam Pengelolaan Sampah Di Indonesia. *Bina Hukum Lingkungan*, 4(2), 279. <https://doi.org/10.24970/bhl.v4i2.106>
- Nethania, F. N. (2024). *Mengintip Proses Pembuatan RDF di TPST Babakan Siliwangi, Kota Bandung*. Kompasiana.Com. <https://www.kompasiana.com/cekunganbandung4331/66bdc4ffc925c46ba142ae72/mengintip-proses-pembuatan-rdf-di-tpst-babakan-siliwangi-kota-bandung>
-

- Nurfadhilah, I., Marlina, L., Lutfiah, L., & Zahra, S. F. (2022). Optimasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Berbasis Teknologi Co-Gasifikasi Thermal dengan Refuse Derived-Fuel sebagai Solusi Permasalahan Sampah dan Lingkungan. *COMSERVA Indonesian Jurnal of Community Services and Development*, 1(10), 850–858. <https://doi.org/10.59141/comserva.v1i10.169>
- Nurwahyudin, D. S., & Harmoko, U. (2020). Pemanfaatan dan Arah Kebijakan Perencanaan Energi Panas Bumi di Indonesia Sebagai Keberlanjutan Maksimalisasi Energi Baru Terbarukan. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 1(3), 111–123. <https://doi.org/10.14710/jebt.2020.10032>
- Paramita, W., Hartono, D. M., & Soesilo, T. E. B. (2018). Sustainability of Refuse Derived Fuel Potential from Municipal Solid Waste for Cement's Alternative Fuel in Indonesia (A Case at Jeruklegi Landfill, in Cilacap). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 159(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/159/1/012027>
- Pemerintah, P., Indonesia, R., Daerah, P. K., Rahmat, D., Yang, T., Esa, M., & Indonesia, P. R. (2019). *Lembaran Negara*. 42.
- Pergub. (2021). *Peraturan Gubernur Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 102 Tahun 2021 Tentang Kewajiban Pengelolaan Sampah di Kawasan dan Perusahaan*. <https://jdih.jakarta.go.id/dokumenPeraturanDirectory/0031/2021PERGUB0031102.pdf>
- Perto. (2024). *Proyek TPST Cilacap Nilainya Rp 84 M, Bantuan Denmark Rp 44 M*. Telusur.Co.Id. <https://telusur.co.id/detail/proyek-tpst-cilacap-nilainya-rp-84-m-bantuan-denmark-rp-44-m>
- Prakoso, S. G., Ardita, N. D., & Murtyantoro, A. P. (2019). Analisis Diplomasi Soft Power Denmark Terhadap Indonesia (Studi Tentang Kerja Sama Pengelolaan Lingkungan di Indonesia) [An Analysis of Denmark's Soft Power Diplomacy in Indonesia (A Study nn Environmental Management Cooperation in Indonesia)]. *Jurnal Politica Dinamika Masalah Politik Dalam Negeri Dan Hubungan Internasional*, 10(1), 57–76. <https://doi.org/10.22212/jp.v10i1.1317>
- Pramita Tristiawati. (2024). *Pakai Teknologi RDF, 60 Ton Sampah TPA Rawa Kucing Tangerang Disulap Jadi Bahan Bakar*. Liputan 6. <https://www.liputan6.com/news/read/5825643/pakai-teknologi-rdf-60-ton-sampah-tpa-rawa-kucing-tangerang-disulap-jadi-bahan-bakar>
- Prof, A., Duc, L., & Vnca, D. (n.d.). *STATUS OF CO-PROCESSING OF WASTE IN VIETNAM CEMENT INDUSTRY*.
- Puspita, D. (2024). Energi Bersih Dan Terjangkau Dalam Mewujudkan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs). *Jurnal Sosial Dan Sains*, 4(3), 271–280. <https://doi.org/10.59188/jurnalsosains.v4i3.1245>
-

- Putri, B. J., & Sari, G. L. (2024). Analisis Potensi Reduksi Sampah oleh Pemulung di Tempat Pengelolaan Sampah Terpadu Bantargebang. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(3), 2367. <https://doi.org/10.33087/jiubj.v24i3.5497>
- Rachman, A., Ilham Samanlangi, A., & Purnomo, H. (2024). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. In . (Issue January).
- Rachman, S. A., Hamdi, M., Djaenuri, A., & Sartika, I. (2020). Analisis Implementasi Kebijakan Publik Pengelolaan Sampah Refused Derived Fuel (Rdf) Di Kabupaten Cilacap. *PAPATUNG: Jurnal Ilmu Administrasi Publik, Pemerintahan Dan Politik*, 3(3), 76–87. <https://doi.org/10.54783/japp.v3i3.317>
- Saha, P. K., Karstensen, K. H., Valravan, K., & Balakumar, V. (2017). RDF Production and Utilisation in India. *Tradeship Publication, December*, 64–67.
- Sari, A. J., & Meilani, H. (2025). *Menuju 100% Pengelolaan Sampah 2029: Strategi dan Realitas: Vol. XVII (Issue 16)*.
- Seifert, H. (2009). Appendix 2 : Study Tour of Japan. *Power, November*.
- SH, Y. (2024). *Soal Penerapan RDF di TPST, Menteri PUPR: Pengganti Batu Bara Untuk Bahan Bakar Alternatif. Sinar Harapan.Co.* <https://www.sinarharapan.co/ekonomi/38511392166/soal-penerapan-rdf-di-tpst-menteri-pupr-pengganti-batu-bara-untuk-bahan-bakar-alternatif>
- Shang, Y., Lyu, G., & Mi, Z. (2022). Green Technology Transfer, Environmental Regulation, and Regional Green Development Chasm: Based on the Empirical Evidence from Yangtze River Delta. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(21). <https://doi.org/10.3390/ijerph192113925>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104(August), 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Syahrani, S., & Tavares, M. A. (2020). Nasib Target Emisi Indonesia: Pelemahan Instrumen Lingkungan Hidup di Era Pemulihan Ekonomi Nasional. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 7(1), 1–27. <https://doi.org/10.38011/jhli.v7i1.212>
- UNEP. (2019). *Waste to Energy: Considerations for Informed Decision-making | International Environmental Technology Centre.* <https://www.unep.org/ietc/resources/publication/waste-energy-considerations-informed-decision-making>
- Utoyo, E. B., & Sudarti, S. (2022). The Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Sebagai Solusi Permasalahan Lingkungan dan Sosial di Indonesia. *CERMIN: Jurnal Penelitian*, 6(2), 337. https://doi.org/10.36841/cermin_unars.v6i2.1727
-

- Vielhaber, B. (2015). Mechanical-Biological Treatment Plant in Hanover, Germany - Experience in Mechanical Processing, Anaerobic Digestion and Refuse Derived Fuel Quality. *International Recycling and Recovery Congress IRRC Waste-to-Energy, October*, 387-398. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1513.8324>
- Warta. (2024). Menengok Pengelolaan Sampah Jadi 'RDF' di TPS 3R Nitikan Yogya. Warta.Jogjakota. [tps://warta.jogjakota.go.id/detail/index/33358?utm_source](https://warta.jogjakota.go.id/detail/index/33358?utm_source)
- WIKA. (2024). RDF Rorotan Karya WIKA, Pionir Pengolahan Sampah RDF di Indonesia, Terbesar di Dunia. WIKA.Co. <https://www.wika.co.id/id/media-dan-informasi/siaran-pers/rdf-rorotan-karya-wika-rdf-waste-processing-pioneer-in-indonesia-largest-in-the-world>
- Zahir, B. H. M., Nurcahyo, R., Farizal, & Wibowo, A. D. (2024). Economic Assessment of Refuse-Derived Fuel (Rdf) Production As Waste Management Strategy and Alternative Fuel in Cement Kilns. *Journal of Law and Sustainable Development*, 12(2), e3220. <https://doi.org/10.55908/sdgs.v12i2.3220>
-