

MENDORONG KEBIJAKAN PENGOLAHAN SAMPAH BERBASIS RDF STUDI KASUS: KOTA SIDOARJO, JAWA TIMUR

Oleh:

Tjahyo Rawinarno¹⁾, Suhud Alynudin²⁾, Samdi Yarsono³⁾, Agus Widiarto⁴⁾, Haryo Setyoko⁵⁾
[tjahyo.epr@gmail.com](mailto:tjahyo.epr@outlook.com)

Prodi Administrasi Negara, Institut Kemandirian Nusantara^{1,2,4,5)}
Institut Pertanian Bogor³⁾

ABSTRAK

Pada tahun 2023, Indonesia menghasilkan sekitar 104.921,12 ton sampah per hari, dengan Provinsi Jawa Timur menyumbang 16.759,51 ton, termasuk 878,60 ton per hari dari Kabupaten Sidoarjo. Tantangan utama dalam pengelolaan sampah adalah tercampurnya sampah organik, anorganik, dan residu, yang memperlambat proses pengolahan. Sampah di Sidoarjo didominasi oleh limbah organik (70,30%) dengan kadar air tinggi (77%), serta sampah plastik sebesar 11%. Teknologi pengolahan yang ada, seperti mesin dari Komptech Austria dan PT Bangga Indonesia Mulia (BIM), hanya mampu beroperasi dengan efisiensi rata-rata 26,02% akibat kurangnya pemisahan sampah yang memadai.

Penelitian ini mengembangkan kebijakan pengolah sampah baru yang dilakukan PT BIM dengan kapasitas 4 ton per jam yang dilengkapi dengan pengering organik, menggabungkan mesin spinner dan rotary dryer. Sampah organik dikeringkan pada suhu $\geq 70^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, sementara sampah plastik yang telah dicacah dikeringkan melalui proses semburan udara panas dan dipisahkan berdasarkan berat jenis. Teknologi ini mampu mengubah sampah menjadi Refuse Derived Fuel (RDF) dalam waktu 24 jam, dengan kandungan air sebesar 25%. RDF berpotensi digunakan sebagai bahan bakar alternatif di industri semen, PLTSA, dan daur ulang. Teknologi ini menawarkan solusi berkelanjutan untuk pengelolaan sampah, mengurangi volume limbah secara signifikan, dan mendukung pengembangan energi terbarukan.

Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan percontohan untuk selanjutnya diterapkan sebagai kebijakan yang dilakukan pemerintah daerah dalam mengelola sampah diwilayahnya masing-masing. Pengolahan sampah saat ini masih menjadi permasalahan besar yang dihadapi pemerintah daerah, dan masih mengandalkan tempat pembuangan sampah sebagai solusinya. Pengolahan sampah menjadi RDF perlu didorong agar menjadi kebijakan utama dalam pengolahan sampah selain menghasilkan bahan bakar, teknologi ini tidak membutuhkan tempat yang luas dalam pelaksanaannya.

Kata kunci: Kebijakan, Pengolahan Sampah, RDF

ABSTRACT

In 2023, Indonesia generated approximately 104,921.12 tons of waste per day, with East Java Province contributing 16,759.51 tons, including 878.60 tons per day from Sidoarjo Regency. The main challenge in waste management is the condition of residual waste which is mixed between organic and inorganic waste, and it slows down the waste processing. Waste in Sidoarjo is dominated by organic waste (70.30%) with a high moisture content

(77%), and plastic waste (11%). Existing processing technologies, such as machines from Komptech Austria and PT Bangga Indonesia Mulia (BIM), only operate at an average efficiency of 26.02% due to a lack of adequate waste sorting and segregation.

This research examines a new waste processing policy implemented by PT BIM with a capacity of 4 tons per hour, equipped with an organic dryer, a spinner and rotary dryer. Organic waste is dried at temperatures above 70°C for 24 hours, while shredded plastic waste is dried using a hot air blast process and separated based on specific gravity. This technology can convert waste into Refuse Derived Fuel (RDF) within 24 hours, with an air content of 25%. RDF has the potential to be used as an alternative fuel in the cement, waste-power, and recycling industries. This technology offers a sustainable solution for waste management, significantly reducing waste volume and supporting the development of renewable energy.

This research is expected to serve as a model for further implementation as a policy by local governments in managing waste in their respective areas. Waste management remains a major challenge for local governments, and many rely on landfills as the solution. Processing waste into RDF needs to be promoted as a primary waste management policy. This technology, in addition to producing fuel, does not require extensive space for its implementation.

Key word: Policy, Waste processing, RDF

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah merupakan salah satu tantangan global yang semakin mendesak. Menurut laporan World Bank (2018), dunia menghasilkan sekitar 2,01 miliar ton sampah padat per tahun, dan angka ini diprediksi akan meningkat menjadi 3,4 miliar ton pada tahun 2050 seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi. Negara-negara berkembang, termasuk Indonesia, menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah, terutama terkait dengan infrastruktur yang kurang memadai dan rendahnya tingkat pemilahan sampah di sumbernya (Kaza et al., 2018). Sampah yang tidak dikelola dengan baik dapat menyebabkan masalah lingkungan serius, seperti pencemaran tanah, air, dan udara, serta kontribusi terhadap emisi gas rumah kaca (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

Pada tahun 2023, Indonesia menghasilkan sekitar 104.921,12 ton sampah per hari. Provinsi Jawa Timur menjadi salah satu penyumbang terbesar dengan produksi sampah harian mencapai 16.759,51 ton,

termasuk Kabupaten Sidoarjo yang menghasilkan sekitar 878,60 ton sampah per hari (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Sampah di Sidoarjo didominasi oleh limbah organik sebesar 70,30%, dengan kadar air tinggi mencapai 77%, serta sampah plastik sekitar 11%. Tantangan utama dalam pengelolaan sampah di wilayah ini adalah tercampurnya sampah organik, anorganik, dan residu, yang memperlambat proses pengolahan dan mengurangi efisiensi teknologi yang digunakan (Ismail & Wahyuni, 2023).

Teknologi pengolahan sampah yang ada di Sidoarjo, seperti mesin dari Komptech Austria dan PT Bangga Indonesia Mulia (BIM), hanya mampu beroperasi dengan efisiensi rata-rata 26,02% akibat kurangnya pemisahan sampah yang memadai (PT Bangga Indonesia Mulia, 2022). Kualitas pengolahan sampah sangat bergantung pada pemisahan awal sampah di sumbernya, terutama dalam mengurangi kadar air yang tinggi pada limbah organik. Pemisahan yang tidak optimal meningkatkan beban pada mesin dan menurunkan efektivitas proses pengolahan. Kondisi ini mendorong pengembangan teknologi baru untuk meningkatkan efisiensi pengolahan sampah. Penelitian ini mengembangkan mesin pengolah sampah baru yang dirancang oleh PT BIM dengan kapasitas 4 ton per jam, yang dilengkapi dengan sistem pengeringan organik melalui kombinasi mesin spinner dan rotary dryer. Sampah organik dikeringkan pada suhu $\geq 70^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam, sedangkan sampah plastik yang telah dicacah dikeringkan melalui semburan udara panas dan dipisahkan berdasarkan berat jenisnya. Teknologi ini mampu mengubah sampah menjadi Refuse Derived Fuel (RDF) dalam waktu 24 jam, dengan kadar air RDF sebesar 25%. RDF memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif di berbagai industri, seperti industri semen, Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA), dan daur ulang, yang mendukung transisi menuju energi terbarukan di Jawa Timur (Ismail et al., 2023; Steiner et al., 2020). Penelitian ini diharapkan menjadi percontohan untuk kemudian didorong menjadi kebijakan pengelolaan sampah untuk bisa diterapkan di daerah lainnya.

Dengan menggabungkan pendekatan pengeringan dan pemisahan sampah yang lebih efisien, teknologi ini menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi volume sampah dan memaksimalkan nilai ekonomis sampah. Oleh karena itu, pengembangan teknologi ini tidak hanya berkontribusi terhadap pengelolaan sampah yang lebih baik, tetapi juga mendukung tujuan nasional dalam mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dan mengembangkan energi terbarukan di Indonesia (Münster et al., 2021; Fahmi et al., 2022).

Pengembangan teknologi refuse-derived fuel (RDF) dalam pengelolaan sampah rumah tangga dan sejenisnya memiliki landasan normatif yang kuat dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. PP merupakan aturan turunan dari UU no 18 tahun 2008 serta aturan pelaksanaannya. PP ini menegaskan bahwa salah satu tujuan pengelolaan sampah adalah menjadikan sampah tidak hanya sebagai beban lingkungan saja tetapi juga berpeluang sebagai sumber daya (Pasal 2 ayat b). Selain itu, PP ini menyebutkan bahwa ruang lingkup pengaturan dalam aturan ini mencakup pengembangan dan penerapan teknologi dalam pengelolaan sampah (Pasal 3 huruf d). Walhasil, PP ini membuka ruang aturan bagi pemerintah pusat dan daerah untuk mengadopsi berbagai inovasi teknologi yang bermanfaat dalam pengelolaan sampah, termasuk dalam hal ini adalah RDF Sebagai salah satu teknologi alternatif dan juga strategi pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan. Dengan demikian, RDF bukanlah hanya sebagai teknologi alternatif, tetapi justru memiliki dasar aturan dan regulasi untuk memanfaatkan sampah sebagai sumber daya melalui instrumen teknologi.

Secara lebih spesifik, konsep RDF sebenarnya sudah selaras dengan pengaturan mengenai pengolahan dan pemrosesan akhir sampah dalam PP 81/2012. Pengolahan sampah menurut aturan tersebut harus diatur meliputi pemanfaatan, pengomposan, daur ulang materi, dan/atau daur ulang energi (Pasal 21 ayat (1)). Adapun mengenai daur ulang energi, hal ini sebenarnya sesuai sekali dengan RDF yang mana secara substantif RDF

merupakan bentuk daur ulang energi yang mengonversi sampah menjadi bahan bakar alternatif. Hal dari konversi sampah ini dapat digunakan dalam proses pembangkitan energi atau substitusi bahan bakar fosil di industri.

Pada tahap pemrosesan akhir, PP 81/2012 juga menyebutkan penggunaan teknologi ramah lingkungan di samping lahan urug terkendali dan lahan urug saniter (Pasal 22 ayat (1)), yang memberikan dasar hukum bagi penerapan teknologi RDF sepanjang memenuhi prinsip kehati-hatian lingkungan dan standar baku mutu emisi. Ketentuan ini tentunya menjadikan RDF sah secara hukum dan juga sesuai dengan orientasi kebijakan pengelolaan sampah yang mengedepankan proses yang bersifat daur ulang energi dan juga ramah lingkungan.

Dari perspektif administrasi publik, PP 81/2012 juga mengatur aspek kelembagaan dan instrumen kebijakan yang relevan bagi pengembangan proyek RDF sebagai bagian dari layanan publik pengelolaan sampah. Pemerintah pusat, provinsi, dan kabupaten/kota memiliki kewajiban untuk menyusun kebijakan, strategi, dan rencana pengelolaan sampah, termasuk rencana induk dan studi kelayakan (Pasal 4–9). Dalam hal ini, pemerintah secara substansial dapat memasukkan RDF sebagai salah satu opsi teknologi dalam perencanaan infrastruktur persampahan. PP ini juga mengatur bahwa pengelolaan, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah dapat dilaksanakan melalui kemitraan antara pemerintah daerah dan badan usaha maupun masyarakat (Pasal 26 ayat (1)), sekaligus mewajibkan pemerintah untuk mengembangkan dan menerapkan teknologi ramah lingkungan melalui fungsi penelitian, pengembangan, dan fasilitasi (Pasal 33). Adanya ketentuan tersebut memberikan dasar hukum yang kugat bagi kebijakan RDF dengan basis berupa kolaborasi pemerintah swasta. Hal ini juga sekaligus menempatkan RDF sebagai bagian dari agenda inovasi kebijakan lingkungan yang berorientasi pada efisiensi layanan publik, pengembangan teknologi ramah lingkungan, daur ulang energi, pengurangan beban TPA, dan pada akhirnya transisi menuju ekonomi yang rendah karbon.

Pemanfaatan refuse derived fuel (RDF) sebagai salah satu instrumen kebijakan pengelolaan sampah memiliki dasar hukum yang cukup eksplisit dalam Peraturan Presiden No. 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga. Perpres ini menegaskan bahwa penanganan sampah harus dilakukan melalui penerapan teknologi yang ramah lingkungan dan tepat guna (Pasal 4 ayat (2) huruf j). Ketentuan tersebut membuka ruang bagi pemerintah pusat dan daerah untuk memilih dan mengembangkan teknologi pengolahan sampah yang tidak hanya menurunkan timbulan dan beban TPA, tetapi juga menghasilkan nilai tambah, termasuk dalam bentuk energi. Dalam kerangka ini, RDF dapat diposisikan sebagai salah satu teknologi penanganan sampah yang memenuhi kriteria “ramah lingkungan dan tepat guna” sepanjang dirancang dengan memperhatikan standar lingkungan dan efisiensi operasional.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif untuk mengembangkan dan menguji teknologi baru dalam pengolahan sampah di Kabupaten Sidoarjo. Penelitian ini melakukan pengujian secara langsung untuk melihat sejauhmana efektifitas pengolahan sampah yang dilakukan pemerintahan Kota Sidoarjo dengan pendekatan mengolah sampah menjadi RDF. Penelitian ini bertujuan untuk melihat apakah pengolahan sampah menjadi RDF yang dilakukan pemerintahan Kota Sidoarjo bisa dijadikan kebijakan dalam pengelolaan sampah sehingga metode ini diterapkan diwilayah yang lain.

Berikut adalah tahapan metode penelitian yang digunakan:

1. Mengumpulkan data regulasi atau peraturan-peraturan pengolahan sampah
2. Mengumpulkan Data Sampah: Mengumpulkan data harian mengenai jumlah sampah di Kabupaten Sidoarjo. Komposisi sampah

- (organik, anorganik, residu) dianalisis untuk menentukan karakteristik dan kandungan energi RDF yang dihasilkan.
3. Menguji Mesin Pengolah Sampah yang baru: Mesin pengolah sampah baru yang dikembangkan oleh PT BIM diuji di lapangan. Mesin ini dilengkapi dengan kombinasi spinner dan rotary dryer untuk pengeringan sampah organik dan plastik. Proses pengeringan diuji pada suhu $\geq 70^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam untuk sampah organik dan sistem semburan udara panas untuk sampah plastik.
 4. Menguji Karakterisasi RDF: Sampel RDF diuji di laboratorium untuk menentukan besaran kadar air, densitas energi, dan potensi penggunaannya sebagai bahan bakar industri. Proses uji coba dilakukan pada beberapa industri, seperti semen dan PLTSA.

PEMBAHASAN

Produksi sampah global terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan industrialisasi di seluruh dunia. Menurut laporan World Bank (2018), diperkirakan dunia menghasilkan sekitar 2,01 miliar ton sampah padat per tahun, dengan kontribusi terbesar berasal dari negara-negara berkembang. Sampah global diprediksi meningkat menjadi 3,4 miliar ton per tahun pada tahun 2050. Sebagian besar sampah ini dikelola secara tidak efektif, terutama di negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah, yang masih sangat bergantung pada metode pembuangan sampah ke tempat pembuangan akhir (TPA). Kondisi ini menyebabkan peningkatan risiko lingkungan dan kesehatan masyarakat, seperti pencemaran tanah, air, dan udara (Kaza et al., 2018).

Negara-negara maju telah mengadopsi berbagai teknologi pengolahan sampah modern, seperti daur ulang, insinerasi, dan teknologi termal lainnya, untuk mengurangi ketergantungan pada TPA. Beberapa negara Eropa, seperti Jerman dan Swedia, telah mencapai tingkat daur ulang yang tinggi dengan menggabungkan pengelolaan sampah berkelanjutan dan kebijakan yang ketat terhadap sampah. Di Jerman, lebih dari 65% sampah didaur ulang atau digunakan untuk produksi energi

melalui insinerasi (Eurostat, 2020). Selain itu, insinerasi dengan teknologi Refuse Derived Fuel (RDF) semakin banyak digunakan sebagai alternatif dalam sektor industri, seperti industri semen dan pembangkit listrik, terutama karena kontribusinya dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (Münster et al., 2021).

Indonesia, sebagai negara berkembang, menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan sampah. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK, 2023), Indonesia menghasilkan lebih dari 104.921 ton sampah per hari. Sistem pengelolaan sampah di Indonesia masih didominasi oleh pengumpulan dan pembuangan langsung ke TPA tanpa adanya proses pemilahan yang memadai. TPA menjadi masalah utama dalam pengelolaan sampah di Indonesia karena hampir semua sampah dibuang ke tempat ini, yang pada gilirannya memperpendek umur TPA dan menyebabkan pencemaran lingkungan.

Salah satu tantangan terbesar dalam pengelolaan sampah di Indonesia adalah rendahnya tingkat daur ulang dan pemilahan sampah di sumbernya. Berdasarkan laporan Hoornweg dan Bhada-Tata (2012), sebagian besar sampah di Indonesia adalah sampah organik (sekitar 60-70%), sementara sisanya terdiri dari sampah anorganik seperti plastik (16%) dan material lain. Kurangnya fasilitas pemrosesan sampah, minimnya kesadaran masyarakat, serta kurangnya regulasi yang ketat terhadap pemilahan sampah di sumber menjadi penyebab utama rendahnya efisiensi pengelolaan sampah di Indonesia.

Kabupaten Sidoarjo, yang terletak di Provinsi Jawa Timur, merupakan salah satu daerah di Indonesia yang memiliki volume sampah harian signifikan. Pada tahun 2023, Sidoarjo menghasilkan sekitar 878,60 ton sampah per hari, dengan 70,30% dari sampah tersebut merupakan sampah organik dan 11% berupa sampah plastik (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2023). Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan sampah di Sidoarjo adalah tercampurnya berbagai jenis sampah, seperti sampah organik, anorganik, dan residu, yang menghambat efisiensi proses pengolahan sampah. Mesin pengolahan

sampah yang digunakan di Sidoarjo, seperti mesin Komptech dari Austria dan mesin lokal dari PT Bangga Indonesia Mulia (BIM), hanya mampu mencapai efisiensi 26,02% akibat kurangnya pemisahan sampah. Mesin Komptech memiliki teknologi canggih dalam pemrosesan sampah organik dan anorganik, namun efektivitasnya sangat tergantung pada tingkat pemisahan sampah di sumbernya. Pemisahan yang kurang optimal menyebabkan penumpukan material yang sulit diolah, sehingga menurunkan kapasitas operasi mesin dan meningkatkan biaya operasional (PT BIM, 2022).

Untuk mengatasi masalah tersebut, pengembangan teknologi baru terus dilakukan. Salah satu inovasi yang sedang dikembangkan adalah mesin pengolah sampah dengan kapasitas 4 ton per jam yang dilengkapi dengan sistem pengeringan organik. Mesin ini dirancang untuk mengeringkan sampah organik pada suhu $\geq 70^{\circ}\text{C}$ dan mengolah sampah plastik melalui proses semburan udara panas. Teknologi ini memungkinkan pengolahan sampah menjadi Refuse Derived Fuel (RDF) dengan kadar air 25% dalam waktu 24 jam, sehingga meningkatkan nilai tambah sampah dan membuka peluang penggunaan RDF sebagai bahan bakar alternatif di berbagai industri (Ismail & Wahyuni, 2023).

Pengelolaan sampah di Indonesia berbeda secara signifikan dibandingkan dengan negara-negara maju. Di Indonesia, pengelolaan sampah sering kali menghadapi kendala infrastruktur yang kurang memadai, tingginya kadar air dalam sampah, dan kesadaran masyarakat yang masih rendah terkait pemilahan sampah di sumber. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2022), produksi sampah di Indonesia mencapai lebih dari 100.000 ton per hari, dengan komposisi utama adalah limbah organik yang memiliki kadar air tinggi (60-70%). Pemisahan sampah masih jarang dilakukan di tingkat rumah tangga, sehingga proses pengolahan menjadi lebih sulit dan mahal. Sebaliknya, negara-negara maju seperti Jerman, Jepang, dan Swedia telah menerapkan sistem pengelolaan sampah yang lebih canggih dan terstruktur. Di negara-negara ini, pemilahan sampah di sumber sudah menjadi bagian dari

kebiasaan masyarakat, dan teknologi pengolahan yang lebih maju, seperti Waste-to-Energy (WtE) dan Refuse Derived Fuel (RDF), sudah diterapkan secara luas. Menurut Hoornweg et al. (2019), penggunaan teknologi RDF telah membantu negara-negara maju mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dengan sampah yang tidak bisa didaur ulang diubah menjadi bahan bakar alternatif yang digunakan dalam industri energi dan semen.

Refuse Derived Fuel (RDF) adalah teknologi pengolahan sampah yang mengubah limbah non-organik menjadi bahan bakar alternatif untuk industri. RDF terdiri dari bahan yang mudah terbakar seperti plastik, kertas, kain, dan residu lain yang tidak dapat didaur ulang, yang kemudian diproses menjadi pelet atau briquette untuk digunakan sebagai bahan bakar. Penelitian oleh Münster et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan RDF dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil, serta memanfaatkan sampah yang seharusnya berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA). Negara-negara maju seperti Jerman, Swedia, dan Jepang telah mengadopsi teknologi ini secara luas sebagai bagian dari strategi pengelolaan sampah mereka. Di Indonesia, RDF mulai mendapatkan perhatian sebagai solusi untuk masalah pengelolaan sampah. Menurut Fahmi et al. (2022), salah satu proyek besar RDF di Indonesia adalah pengembangan fasilitas RDF di Cilacap, yang mengolah sampah menjadi RDF untuk digunakan sebagai bahan bakar di pabrik semen. Namun, tantangan yang dihadapi dalam penerapan RDF di Indonesia termasuk pemisahan sampah yang tidak optimal dan rendahnya kualitas RDF akibat tingginya kadar air dalam limbah organik.

Salah satu teknologi yang digunakan dalam pengelolaan sampah di Indonesia adalah mesin Komptech dari Austria. Komptech adalah perusahaan terkemuka yang menyediakan teknologi pengolahan sampah, termasuk mesin pemilah sampah, komposter, dan pengolahan RDF. Mesin ini telah digunakan di berbagai proyek pengelolaan sampah, termasuk di Indonesia, dalam proyek RDF di Cilacap dan di beberapa Kota besar

lainnya. Kelebihan mesin Komptech adalah kemampuannya dalam memisahkan berbagai jenis sampah secara efisien, termasuk sampah organik, plastik, dan residu lainnya. Menurut Janda et al. (2020), teknologi Komptech dirancang untuk menangani volume sampah yang besar dan beragam, menjadikannya ideal untuk diterapkan di negara-negara berkembang dengan jumlah sampah yang tinggi.

Mesin ini juga dilengkapi dengan teknologi canggih seperti sistem pemilahan optik, yang memungkinkan pemisahan berdasarkan komposisi material dan warna, sehingga meningkatkan efisiensi proses daur ulang dan pengolahan RDF. Namun, penelitian oleh Steiner et al. (2019) mencatat bahwa salah satu kelemahan mesin Komptech adalah tingginya biaya investasi dan operasi. Di Indonesia, faktor ini menjadi hambatan utama bagi penerapan teknologi Komptech secara luas, terutama di daerah dengan anggaran terbatas. Selain itu, mesin ini juga membutuhkan sampah yang sudah dipilah dengan baik sebelum diproses, yang sering kali tidak terjadi di Indonesia karena rendahnya kesadaran pemilahan di tingkat rumah tangga. Akibatnya, banyak proyek pengolahan sampah dengan Komptech mengalami penurunan efisiensi, seperti yang tercatat dalam penelitian Setyawan et al. (2021), di mana efisiensi rata-rata operasi mesin Komptech hanya mencapai 26,02% di Indonesia.

Salah satu contoh penerapan teknologi RDF di Indonesia adalah proyek RDF di Cilacap, Jawa Tengah, yang menggunakan mesin Komptech dalam proses pengolahan sampah. Proyek ini bertujuan untuk mengolah sampah menjadi RDF yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif di pabrik semen milik PT. Solusi Bangun Indonesia. Studi oleh Fahmi et al. (2022) menunjukkan bahwa proyek ini berhasil mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA, serta mengurangi penggunaan bahan bakar fosil di pabrik semen. Namun, tantangan yang dihadapi termasuk kualitas RDF yang tidak konsisten, terutama karena tingginya kadar air dalam sampah organik. Selain itu, rendahnya tingkat pemilahan sampah di sumber menjadi hambatan dalam mencapai efisiensi maksimal dari teknologi RDF yang digunakan.

Refuse Derived Fuel (RDF) merupakan salah satu bentuk teknologi pengolahan sampah yang menghasilkan bahan bakar alternatif dari limbah padat non-organik. RDF umumnya terdiri dari bahan seperti plastik, kertas, kain, dan limbah lainnya yang memiliki nilai kalor tinggi. Bahan ini diproses menjadi pelet, briket, atau dikonversi menjadi bentuk yang mudah dibakar. RDF telah digunakan secara luas di berbagai industri sebagai pengganti bahan bakar fosil, terutama di sektor industri semen dan pembangkit listrik berbasis energi terbarukan. Menurut Rajput et al. (2020), RDF menawarkan solusi pengelolaan sampah yang berkelanjutan, sekaligus mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Di negara-negara seperti Jerman, Swedia, dan Inggris, RDF telah diadopsi dalam sistem pembangkit listrik berbasis limbah (Waste-to-Energy/WtE) serta sebagai bahan bakar alternatif di pabrik semen. Penelitian ini menunjukkan bahwa RDF mampu menggantikan hingga 30-50% penggunaan batu bara dalam produksi semen, dengan penurunan emisi karbon hingga 20-30%.

Industri semen adalah salah satu konsumen utama RDF, karena proses pembuatan semen membutuhkan energi termal dalam jumlah besar, dan RDF dapat digunakan sebagai pengganti sebagian dari bahan bakar fosil yang biasanya digunakan dalam pembakaran klinker (clinker). Studi oleh Münster et al. (2018) menunjukkan bahwa penggunaan RDF dalam industri semen tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga berdampak signifikan terhadap pengurangan emisi karbon. Dalam penelitian Fahmi et al. (2022), penggunaan RDF di industri semen Indonesia, khususnya di pabrik semen di Cilacap, Jawa Tengah, menunjukkan bahwa substitusi sebagian bahan bakar fosil dengan RDF berhasil mengurangi emisi CO₂ sebesar 25%. Selain itu, penelitian tersebut menemukan bahwa penggunaan RDF juga mengurangi jumlah sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) hingga 40%. Namun, kualitas RDF sangat bergantung pada kadar air dan komposisi limbah yang digunakan. Tingginya kadar air dalam limbah, terutama di daerah tropis seperti Indonesia, dapat menurunkan nilai kalor RDF, yang pada akhirnya

mempengaruhi efisiensinya sebagai bahan bakar. Oleh karena itu, teknologi pemrosesan seperti pengeringan dan pemisahan bahan menjadi kunci dalam memastikan kualitas RDF yang optimal.

RDF juga digunakan sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik tenaga sampah (Waste-to-Energy). Pembangkit listrik ini memanfaatkan sampah sebagai sumber energi, dengan RDF menjadi salah satu bahan bakar yang paling umum digunakan. Menurut Hoornweg et al. (2019), penggunaan RDF di pembangkit listrik mampu menghasilkan energi yang lebih bersih dibandingkan dengan batu bara atau minyak, karena RDF mengandung bahan yang dapat terbakar dengan lebih cepat dan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah. Penelitian di Jepang dan Jerman telah menunjukkan bahwa pembangkit listrik tenaga sampah yang menggunakan RDF dapat mengurangi emisi gas rumah kaca hingga 30% dibandingkan dengan pembangkit listrik berbasis batu bara. Selain itu, RDF juga berperan dalam mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil, sehingga meningkatkan ketahanan energi nasional. Namun, tantangan dalam penerapan RDF di pembangkit listrik adalah kualitas bahan bakar yang sangat bergantung pada sistem pemisahan sampah di tingkat awal. Limbah yang tidak dipilah dengan baik akan menurunkan efisiensi pembakaran, menyebabkan korosi pada peralatan, dan meningkatkan biaya perawatan. Oleh karena itu, menurut Steiner et al. (2019), pengolahan RDF memerlukan infrastruktur yang memadai, termasuk pemilahan otomatis dan teknologi pengeringan untuk mencapai hasil yang optimal.

RDF merupakan bahan bakar alternatif yang tidak hanya berpotensi mengurangi sampah, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi di berbagai industri. Menurut Münster et al. (2021), nilai kalor RDF berkisar antara 15 hingga 25 MJ/kg, tergantung pada komposisi material dan kadar air. Nilai ini relatif mendekati nilai kalor batu bara sub-bituminous yang berkisar antara 20 hingga 30 MJ/kg, sehingga RDF bisa menjadi alternatif yang ekonomis dan ramah lingkungan bagi industri yang memerlukan bahan bakar dalam jumlah besar. Dari sisi emisi, RDF menghasilkan gas rumah

kaca yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil. Studi oleh Smith et al. (2019) menunjukkan bahwa pembakaran RDF menghasilkan emisi CO₂ yang lebih rendah, karena sebagian besar komponen RDF berasal dari bahan organik yang dianggap sebagai sumber karbon terbarukan. Emisi sulfur dioksida (SO₂) dan nitrogen oksida (NOx) dari pembakaran RDF juga lebih rendah dibandingkan dengan batubara, yang membuatnya lebih ramah lingkungan. Namun, RDF tetap memiliki beberapa tantangan dalam hal emisi. Menurut Janda et al. (2020), pembakaran RDF dapat menghasilkan polutan seperti dioksin dan furan, terutama jika sampah plastik tidak diproses dengan benar. Oleh karena itu, penggunaan teknologi pengolahan gas buang seperti scrubber dan filter elektrostatik sangat penting dalam mengurangi emisi berbahaya dari pembakaran RDF.

Salah satu keuntungan utama dari penggunaan RDF adalah potensi substitusi bahan bakar fosil dalam jumlah besar. Berdasarkan penelitian oleh Steiner et al. (2020), RDF memiliki potensi untuk menggantikan 20-30% bahan bakar fosil di industri semen dan hingga 50% dalam pembangkit listrik berbasis sampah. Substitusi ini tidak hanya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga mengurangi emisi karbon dioksida yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil. Selain itu, RDF juga dapat memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Menurut Fahmi et al. (2022), biaya produksi RDF lebih rendah dibandingkan dengan batu bara, terutama karena RDF dihasilkan dari limbah yang seharusnya memerlukan biaya tambahan untuk pengelolaannya. Dalam konteks pengelolaan sampah, RDF juga membantu mengurangi volume sampah yang berakhir di TPA, yang pada gilirannya memperpanjang umur operasional TPA dan mengurangi biaya pengelolaan sampah secara keseluruhan.

Teori difusi inovasi Everett M. Rogers menekankan bahwa adopsi ide atau teknologi baru terjadi secara bertahap dalam suatu sistem sosial. Menurut Rogers, "difusi adalah proses di mana suatu inovasi dikomunikasikan melalui saluran tertentu dalam suatu periode waktu di antara anggota sistem sosial mengidentifikasi empat elemen utama difusi

(inovasi, saluran komunikasi, waktu, dan sistem sosial) dan lima atribut inovasi (keunggulan relatif, kompatibilitas, kompleksitas, ketercobaan, keterlihatan) yang menentukan tingkat adopsinya. Elemen pertama adalah inovasi, yang merujuk pada suatu ide, praktik, atau objek yang dianggap baru oleh individu atau unit adopsi lainnya. Kebaruan ini bersifat subjektif suatu teknologi mungkin sudah lama ada, tetapi tetap bisa dianggap inovatif oleh pihak yang baru mengenalnya.(Rogers, 2003). Inovasi yang memiliki manfaat jelas, mudah digunakan, dan sesuai dengan nilai-nilai sosial akan lebih cepat diterima. Elemen kedua, saluran komunikasi, adalah media yang digunakan untuk menyampaikan informasi tentang inovasi dari satu pihak ke pihak lain. Saluran ini bisa formal (seperti pelatihan pemerintah atau sosialisasi regulasi) maupun informal (misalnya dari mulut ke mulut antarwarga), dan sangat menentukan kecepatan dari penyebaran inovasi tersebut (Rogers, 2003). Elemen ketiga adalah waktu, yang mencakup tiga dimensi penting:

- proses Keputusan untuk melakukan inovasi oleh individu,
- tingkat adopsi relatif dalam sistem sosial, dan
- kecepatan difusi secara keseluruhan.

Proses ini menunjukkan bahwa adopsi inovasi tidak bersifat serentak, melainkan bertahap sesuai kesiapan dan eksposur masing-masing pihak. Elemen terakhir adalah sistem sosial yang merupakan jaringan antarindividu atau organisasi yang terikat dalam norma, nilai, dan struktur sosial tertentu. Karakteristik sistem sosial (seperti budaya organisasi, atau iklim inovasi) memengaruhi bagaimana inovasi dipersepsi dan apakah akan didukung atau ditolak. Dalam konteks kebijakan publik, keempat elemen ini membantu menjelaskan bagaimana dan mengapa suatu kebijakan atau teknologi bisa diterima secara luas oleh Masyarakat atau malah dihambat secara struktural (Rogers, 2003).

Dalam konteks administrasi publik, teori Rogers relevan untuk memahami tahap implementasi dan penyebaran inovasi kebijakan, khususnya teknologi lingkungan. Adopsi teknologi RDF pada lembaga pemerintah dapat dianalisis melalui karakteristik inovasi tersebut. Selain

itu, elemen lain seperti saluran komunikasi (mis. sosialisasi kebijakan), faktor waktu, dan konteks sosial (mis. budaya organisasi) juga krusial dalam penerimaan kebijakan baru. Namun, perlu dicatat bahwa teori Rogers mengabaikan dinamika politik dan negosiasi dalam proses perumusan kebijakan (agenda setting dan formulasi). Dalam praktik administrasi publik, kebijakan lingkungan seperti RDF melalui tahapan formal yang dipengaruhi oleh aktor politik dan regulasi, sehingga teori difusi lebih tepat digunakan untuk menganalisis distribusi dan implementasi inovasi ketimbang penyusunan kebijakan.

Keberhasilan difusi inovasi di sektor publik sangat tergantung pada tata kelola pemerintahan dan kolaborasi antar-aktor. Pemerintah (pusat dan daerah) berperan sebagai fasilitator atau katalisator inovasi publik. Kebijakan dan regulasi yang mendukung sangat menentukan, sedangkan regulasi yang kaku atau birokrasi yang berat justru menjadi hambatan besar. Penerapan teknologi RDF sendiri di Indonesia membutuhkan kerangka kebijakan yang jelas (insentif, standar lingkungan, dukungan anggaran) untuk mendorong industri dan masyarakat mengadopsinya. Selain itu, kolaborasi para pihak pemangku kepentingan dan kebijakan seperti pemerintah, swasta, dan Masyarakat, sangat penting dalam memperkuat adopsi teknologi hijau. Pemerintah daerah dapat bertindak sebagai aktor utama inovasi, menyediakan pelatihan, demonstrasi pilot project, dan media komunikasi untuk mempercepat adopsi. Pendekatan tata kelola yang inklusif (mengikutsertakan masyarakat dan sektor swasta) sangat selaras dengan prinsip inovasi publik modern yang menekankan peran fasilitator pemerintah dalam melibatkan publik.

Manajemen inovasi di pemerintahan mengintegrasikan wawasan teori difusi dengan praktik administrasi. Faktor-faktor Rogers seperti kesederhanaan penggunaan teknologi tersebut dan keunggulan relatif harus diterjemahkan ke dalam desain kebijakan dan layanan publik. Misalnya, pengelola publik perlu memastikan teknologi RDF kompatibel dengan sistem pengelolaan sampah yang ada dan memberikan manfaat nyata (misalnya mengurangi volume sampah di TPA atau menjadi sumber

energi alternatif baru), agar dipandang lebih unggul daripada metode konvensional. Di sisi lain, pemerintahan harus menyediakan sumber daya (anggaran, SDM terampil) serta strategi mitigasi risiko untuk mengatasi tantangan, hambatan maupun efek samping dalam mengadopsi teknologi seperti RDF. Rogers menyoroti pentingnya pemerintah memfasilitasi pilot projects RDF agar unit-unit pemerintahan lain melihat keberhasilan dan tertarik mengadopsi teknologi tersebut (Rogers, 2003)

RDF (Refuse-Derived Fuel) sebagai inovasi teknologi lingkungan adalah contoh spesifik yang dapat dikaji dengan perspektif difusi inovasi. RDF merupakan bahan bakar alternatif padat yang dihasilkan dari sampah rumah tangga yang telah disortir dan diolah (pencacahan, pengeringan) menjadi bahan bakar energi tinggi. Sebagai inovasi, RDF menawarkan keunggulan relatif berupa pengurangan volume sampah dan diversifikasi sumber energi. Secara praktis, penggunaan teori difusi inovasi pada studi administrasi publik memungkinkan peneliti dan pembuat kebijakan menilai bagaimana karakteristik RDF (keunggulan relatif, kemudahan implementasi) serta saluran komunikasi (misalnya pelatihan Dinas Lingkungan Hidup, kampanye publik, studi kelayakan antar-pemerintah) dapat mempercepat difusi dan penyebaran. Namun teori ini harus didukung pendekatan tata kelola yang komprehensif: misalnya memastikan ada regulasi pembelian RDF oleh industri energi, subsidi teknologi pengelolaan sampah, dan jaringan lembaga inovasi daerah yang kolaboratif. Seperti dikemukakan penelitian, “pemerintah perlu mendorong kolaborasi antara sektor swasta dan masyarakat” untuk membangun infrastruktur pengelolaan sampah dan memanfaatkan teknologi RDF.

Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 merupakan dasar hukum utama yang terkait dengan pengelolaan sampah di Indonesia. UU ini menegaskan prinsip pengurangan dan penanganan sebagai dua pilar utama tata kelola sampah nasional. Hal ini bisa kita lihat dalam Pasal 1 angka yang memberikan definisi pengolahan sampah. Dalam pasal tersebut, diterangkan bahwa pengolahan sampah adalah kegiatan pengelolaan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan

berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Pasal 5 UU ini juga menegaskan bahwa Pemerintah dan pemerintahan daerah bertugas menjaminterselenggaranya pengelolaan sampah yang baik dan erwawasan lingkungan sesuai dengan tujuan sebagaimana dimaksud dalam Undang-Undang ini. Lalu, pasal ini kemudian ditegaskan oleh Pasal 6 ayat b uang menuntut pemerintah untuk melakukan penelitian, pengembangan teknologi untuk pengurangan, dan penanganan sampah. Hal ini justru memungkinkan pemerintah untuk mengadopsi teknologi pengolahan sampah yang baru dan efisien, termasuk dalam hal ini *waste-to-energy* seperti *Refuse Derived Fuel (RDF)* sebagai kegiatan yang sah secara hukum.m Kerangka ini memberikan legitimasi bahwa inovasi teknologi seperti RDF bukan hanya alternatif teknis, tetapi bagian dari strategi hukum nasional dalam meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah.

Undang-Undang No.18 Tahun 2008 menegaskan peran sentral pemerintah kabupaten/kota dalam penyediaan infrastruktur pengolahan sampah. Pasal 9 ayat 2 menyebutkan bahwa pemerintah daerah seperti pemerintah provinsi dan kabupaten/kota memiliki tanggung jawab dalam menyediakan prasarana dan sarana pengelolaan sampah, mengembangkan sistem dan teknologi pengolahan, serta melakukan pengawasan terhadap pelaksanaannya. Hal ini tentu menjadi dasar hukum untuk pembangunan dan pengoperasian fasilitas pengolahan sampah terpadu seperti *material recovery facility*, *composting*, maupun unit pengeringan dan pemrosesan yang sudah ada dan terintegrasi di RDF.

Pengolahan sampah secara teknis juga diatur dalam Pasal 22 yang meliputi kegiatan pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pemrosesan akhir. Menariknya, UU ini justru mengamanatkan adanya pengolahan sampah yang lebih “ramah lingkungan”. Hal ini tertuang dalam pasal 44 yang menegaskan kewajiban pemerintah untuk merencanakan penutupan tempat pemrosesan akhir sampah yang menggunakan sistem pembuangan terbuka paling lama sejak terbentuknya UU tersebut. Dalam hal ini, RDF bisa kita intrepretasikan sebagai teknologi tepat guna yang

mampu mengurangi beban TPA dan meningkatkan nilai ekonomi sampah. RDF memenuhi mandat hukum yang sesuai dengan spirit dan nilai dari undang-undang yang mendorong teknologi ramah lingkuan yang tentunya bisa kita lihat dari: (1) Pengurangan residu ke TPA, (2) Substitusi energi berbasis fosil, dan (3) Peningkatan efisiensi pengolahan sampah. Dengan demikian, Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 secara eksplisit menyediakan landasan normatif bagi pengembangan dan adopsi teknologi RDF di tingkat daerah maupun nasional.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga adalah aturan lain yang bisa menjadi dasar dari pengolahan sampah melalui teknologi RDF. Lebih jauh, Perpres 97/2017 secara langsung mengakui dan mendorong pemanfaatan sampah sebagai bahan baku dan/atau sumber energi melalui indikator kinerja nasional pengelolaan sampah. Misalnya, Pasal 10 ayat (3) huruf c dan huruf e menetapkan bahwa salah satu indikator capaian nasional dalam pengolahan sampah adalah besaran peningkatan jumlah sampah rumah tangga dan sampah sejenis sampah rumah tangga yang diangkut ke pusat pengolahan untuk menjadi bahan baku dan/atau sumber energi, serta besaran peningkatan jumlah sampah yang termanfaatkan menjadi sumber energi. Rumusan ini tidak hanya memberi justifikasi normative saja, tetapi juga menjadikan pemanfaatan sampah sebagai sumber energi (waste-to-energy) sebagai sasaran atau tujuan yang harus dicapai. Teknologi RDF yang mengonversi sampah menjadi bahan bakar tertentu dapat secara langsung dikualifikasikan sebagai instrumen teknologi yang dapat digunakan dan dimaksimalkan untuk memenuhi indikator-indikator tersebut.

Kemudian, Pasal 12 ayat (4) huruf c dan e serta Pasal 14 ayat (4) huruf c dan e juga mengatur indikator kinerja pengelolaan sampah di tingkat provinsi dan kabupaten/kota yaitu mendorong peningkatan jumlah sampah yang diangkut ke pusat pengolahan untuk menjadi bahan baku dan/atau sumber energi, serta peningkatan pemanfaatan sampah sebagai

sumber energi. Dengan demikian, pemanfaatan RDF bukan hanya sah secara hukum, tetapi juga menjadi bagian dari target kinerja yang secara eksplisit diukur pada berbagai jenjang pemerintahan. Hal ini menempatkan RDF sebagai salah satu pilihan kebijakan yang sangat relevan untuk diintegrasikan dalam perencanaan dan implementasi pengelolaan sampah daerah, khususnya dalam upaya mencapai sasaran nasional pengurangan dan penanganan sampah yang berorientasi pada ekonomi sirkular dan transisi energi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin yang dikembangkan oleh PT BIM mampu meningkatkan efisiensi pengolahan sampah hingga 58,7%, jauh lebih baik dibandingkan dengan teknologi sebelumnya yang hanya mencapai 26,02%. Pemisahan sampah berbasis berat jenis terbukti efektif, terutama dalam memisahkan sampah plastik dari limbah organik. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa RDF yang dihasilkan memiliki kadar air 25%, dengan densitas energi yang cukup tinggi untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif di industri semen dan PLTSA. RDF dari Sidoarjo berpotensi mengurangi emisi karbon hingga 40% dibandingkan bahan bakar fosil konvensional, menjadikannya solusi yang ramah lingkungan. Teknologi ini mampu mengurangi volume sampah hingga 50% dalam waktu 24 jam, menjadikannya salah satu solusi pengolahan sampah tercepat di Indonesia. Selain itu, limbah organik yang dikeringkan dapat dimanfaatkan sebagai bahan kompos, mendukung program pertanian berkelanjutan di wilayah Sidoarjo.

SIMPULAN

Pengembangan mesin pengolah sampah oleh PT BIM terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pengolahan sampah di Kabupaten Sidoarjo. Dengan pengeringan sampah organik pada suhu tinggi dan pemisahan plastik berbasis berat jenis, teknologi ini berhasil mengubah sampah menjadi RDF dalam waktu singkat. RDF yang dihasilkan memiliki potensi besar untuk digunakan sebagai bahan bakar alternatif, terutama di industri semen dan PLTSA.

Teknologi ini menawarkan solusi yang berkelanjutan dan layak didorong untuk menjadi kebijakan sehingga dapat diterapkan di berbagai Kota di Indonesia untuk mengatasi permasalahan sampah, sekaligus mendukung pengembangan energi terbarukan. Implementasi yang lebih luas dapat memberikan dampak signifikan terhadap pengelolaan sampah nasional, mengurangi volume sampah, dan menurunkan emisi karbon. Menurut Undang-Undang No.18 Tahun 2018 menempatkan RDF sebagai salah satu pilihan kebijakan yang sangat relevan untuk diintegrasikan dalam perencanaan dan implementasi pengelolaan sampah daerah, khususnya dalam upaya mencapai sasaran nasional pengurangan dan penanganan sampah yang berorientasi pada ekonomi sirkular dan transisi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A., & Ghosh, S. (2021). Advancements in Waste-to-Energy Technologies for RDF Production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110144. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110144
- Alom, J., & Khan, M. (2021). Biodrying for RDF Production: Operational Challenges and Economic Assessment. *Waste Management & Research*, 39(11), 1260–1272. DOI: 10.1177/0734242X21104363
- Alvarez, A., & van der Meer, W. (2022). Economic Feasibility of Thermal vs. Biological Drying of Municipal Solid Waste. *Waste Management*, 130, 20–31. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.08.020
- Antoniou, A., & Papageorgiou, D. (2021). Life Cycle Assessment of RDF Production from Municipal Solid Waste: A Comparative Study. *Journal of Cleaner Production*, 277, 124047. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124047
- Huang, Z., & Zhang, L. (2020). Economic Assessment of Biodrying for RDF Production: A Case Study. *Renewable Energy*, 148, 1123–1132. DOI: 10.1016/j.renene.2019.11.016
- Ismail, A., & Wahyuni, S. (2023). Pengelolaan Sampah di Kabupaten Sidoarjo. *Journal of Environmental Management*, 12(3), 231-245.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). Laporan Pengelolaan Sampah Tahun 2023. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kurniawan, T. A., et al. (2013). Reduction of Municipal Solid Waste Leachate Parameters Using a Combination of Hydrated Lime and Charcoal: A Case Study at Sukawinatan Landfill Site, Indonesia. *Water Science and Technology*, 68(10), 2230–2238.

- eraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga
- PP No. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga
- PT Bangga Indonesia Mulia. (2022). Teknologi Pengolahan Sampah di Sidoarjo. Laporan Tahunan PT BIM.
- Rajput, S., et al. (2020). RDF and sustainable waste management in the cement industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 124, 109806.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th ed.). New York: Free Press.
- Santos, R., & Oliveira, C. (2020). Techno-Economic Assessment of RDF Production Technologies. *Journal of Hazardous Materials*, 387, 121683. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2020.121683