

REFUSE DERIVED FUEL (RDF)

SOLUSI ALTERNATIF

PENGELOLAAN SAMPAH

DI INDONESIA



Penulis

KUN NASYTHON
SIRIN FAIRUS

Refuse Derived Fuel (RDF)
**Solusi Alternatif Pengolahan Sampah
di Indonesia**

UU No. 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta pada Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. Penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual.
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. Penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

- Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan /atau pidana denda paling banyak Rp 100.000 (seratus raja rupiah).
- Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp 500.000.000 (lima ratus juta rupiah).

Refuse Derived Fuel (RDF)
**Solusi Alternatif Pengolahan Sampah
di Indonesia**

Penulis:

Kun Nasython

Sirin Fairus



2025

Refuse Derived Fuel (RDF) Solusi Alternatif Pengolahan Sampah

Jumlah halaman : xx, 75 halaman

Ukuran halaman : 15,5 x 23 cm

ISBN e-book: 978-602-7989-86-3(PDF)

Penulis:

- Kun Nasynthon
- Sirin Fairus

Desain Cover:

Nurhakim As'ad Wicaksono

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.

Siapapun dilarang keras menerjemahkan, mencetak, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penulis dan penerbit.

Cetakan pertama:

November 2025

Diterbitkan oleh:

Universitas Bakrie Press

Penerbit Anggota IKAPI No. 638/Anggota Luar Biasa/DKI/2024



Komplek Rasuna Epicentrum
Jl. HR. Rasuna Said, Setiabudi, Kuningan
Jakarta 12920

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

- Allah SWT yang telah memberi kesehatan dan kemudahan berfikir dalam penuangan ilmu pengetahuan penulis ke dalam sebuah karya buku.
- Keluarga yang senantiasa memberi dukungan dan doa kepada penulis untuk terus berkarya serta menebar manfaat kepada orang banyak.
- Pihak-pihak narasumber dan sumber referensi yang tidak dapat disebutkan satu per satu, baik dalam bentuk partner diskusi, masukan, sumbangsih informasi dan ilmu, acuan literatur, parapihan isi buku ini.
- Universitas Bakrie, utamanya Universitas Bakrie Press UBakrie Press, yang telah memberi kesempatan luas dan membantu proses penerbitan buku ini.
- Para pembaca yang senantiasa belajar sepanjang usia yang memilih serta mengambil manfaat dari buku ini.

PRAKATA

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas Rahmat dan karuniaNya sehingga buku “RDF solusi alternatif Pengolahan sampah di Indonesia” ini dapat selesai dan diterbitkan oleh UB Press Universitas bakrie. Tim Penulis adalah Dosen Prodi Teknik Lingkungan Universitas Bakrie. Penulis pertama telah seringkali diminta oleh Kementerian Teknis atau Pemerintah baik di Tingkat Provinsi maupun di Tingkat Kabupaten/Kota untuk mendukung kegiatan terkait *Waste to Energy*.

Sebagai Tenaga Ahli Persampahan, penulis pertama juga sering dilibatkan oleh pihak konsultan yang ditunjuk oleh Pengguna Jasa (Kementerian teknis atau Pemerintah daerah) dalam kegiatan *waste management* yang ber-output pada pemanfaatan limbah sebagai Energi yang ramah lingkungan sebagai energi baru terbarukan. Penulis kedua merupakan pengajar tetap dan juga peneliti di bidang persampahan. Terbatasnya referensi dan pengalaman tenaga ahli konsultan yang ada, buku berjudul “RDF sebagai Solusi Alternatif Pengolahan Sampah di Indonesia” ini diharapkan menjadi alternatif penyelesaian masalah pengolahan sampah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, karena sampah dapat diolah menjadi substitusi bahan bakar.

Di sisi lain dalam RPJMN 2024-2029 diamanatkan bahwa mulai tahun 2030 sudah tidak boleh ada lagi pembangunan TPA baru dan sampah yang dibuang sebagai residu tidak boleh lebih dari 10%. Dengan demikian, pengolahan sampah berbasis RDF menjadi sangat solutif untuk menyelesaikan permasalahan pengelolaan sampah di Kabupaten/Kota yang ada di Indonesia. Setelah menyelesaikan kegiatan penyelesaian kajian sebagai tenaga ahli khususnya bidang persampahan tentunya penulis mempunyai referensi hasil kajian yang telah dilakukan. Oleh karena itu penulis dan tim merasa terpanggil untuk membuat resumé

singkat kajian terkait pengolahan sampah berbasis RDF yang merupakan paradigma baru pengolahan sampah yang bernuansa Kumpul – Angkut - **Proses** – Buang sebagai residu. Penulis pertama dan kedua berkolaborasi menulis buku ini dan mendedikasikan buku ini untuk Pemerintah Kabupaten/Kota yang sedang mengalami problem terkait pengelolaan sampah di TPA, para pegiat persampahan dan para pembaca lain.

Demikian hal ini disampaikan dan terimakasih atas perhatiannya.

Hormat kami,
Penulis

DAFTAR ISI

UCAPAN TERIMA KASIH	v
PRAKATA	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR SINGKATAN	xii
DAFTAR ISTILAH	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Selayang Pandang Pengelolaan Sampah Di Indonesia	1
1.2 Eksternalitas Pengolahan Sampah Menjadi RDF.....	3
1.3.Kerangka Pikir Pengelolaan Sampah Berbasis RDF.....	7
BAB II (TOPIK KAJIAN I) GAMBARAN UMUM PENGELOLAAN PERSAMPAHAN DI INDONESIA	0
2.1 Pengelolaan Sampah Dalam Angka Dan Data	0
2.2 Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Rumah Tangga.....	2
2.3 Peran Serta Masyarakat Dalam Penanganan Sampah	13
2.4 Tantangan Pengelolaan Sampah Kota di Indonesia	15
BAB III (TOPIK KAJIAN 2) PENGOLAHAN SAMPAH MENJADI RDF.....	27
3.1 Kualifikasi RDF di Indonesia	27
3.2 Sejarah Teknologi RDF Di Indonesia	30
3.3 Pedoman Teknis Pengolahan Sampah Menjadi RDF	31
3.4 Spesifikasi Dan Klasifikasi RDF	45
BAB IV (TOPIK KAJIAN 2) ASPEK OPERASIONAL RDF	50
4.1 Kriteria sampah menjadi RDF	50
4.2 Jenis Teknologi Pemrosesan RDF.....	54

4.3 Teknologi Produksi RDF	55
4.4 Nilai Kalor MSW Di Indonesia.....	57
BAB V RDF SEBAGAI SOLUSI PENANGANAN SAMPAH DI INDONESIA	59
5.1 RDF sebagai Sumber Energi Alternatif.....	59
5.2 Potensi Pasar RDF Di Indonesia.....	60
5.3 Potensi Sektor Ekonomi Sebagai Pengambil Manfaat RDF	61
5.4 Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif RDF Pada Industri Semen	63
5.5 Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif RDF Pada Industri Semen	Non 65
5.6 Menghubungkan Industri Pengambilalihan RDF Dengan Jenis RDF.....	67
5.7 Modifikasi Teknologi RDF Disarankan Untuk Sektor-Sektor Utama Pengambilan Besar	68
BAB VI SAMPAH HARIINI DAN ENERGI ESOK HARI	70
DAFTAR PUSTAKA	72
BIOGRAFI PENULIS	74

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Capaian Persampahan pada SIPSN	1
Tabel 2.2 Sumber-Sumber Sampah.....	3
Tabel 2.3 Nilai Kalor Sampah.....	12
Tabel 3.1 Perbandingan Kualitas Akhir RDF Berdasarkan Sumber Sampahnya.....	28
Tabel 3.2 Klasifikasi RDF yang Ditentukan Berdasarkan ASTM	47
Tabel 3.3 Metode Uji Sampel RDF Menurut Standar ASTM	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah	2
Gambar 1. 2 Tahapan Proses dan Pengelompokan Kegiatan Berdasarkan Proses.....	8
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pemanfaatan Sampah.....	28
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan Sampah menjadi Bahan Bakar RDF	31
Gambar 3. 3 Prinsip Kerja DSD	34
Gambar 3. 4 Prinsip Kerja ISD.....	35
Gambar 3. 5 Pengeringan Tenaga Surya Tipe Hibrida.....	35
Gambar 3. 6 Single Passrotary Dryer	37
Gambar 3. 7 Reactor biodrying	39
Gambar 3. 8 Rotary Biodrying	40
Gambar 3. 9 Bio drying with geotekstile	40
Gambar 3. 10 Biodrying with geotextile	41
Gambar 3. 11 Mechanical Drying.....	41

DAFTAR SINGKATAN

AF	Bahan Bakar Alternatif
AFR	Bahan Bakar dan Bahan Baku Alternatif
Bappenas	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
ECA	Undang-Undang Konservasi Energi
EF	Jejak Ekologis
AMDAL	Penilaian dampak lingkungan
EPMA	Undang-Undang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
GRK	Gas Rumah Kaca
Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral
MRF	Fasilitas Pemulihan Material
MSW	Limbah Padat Kota
MT	Perawatan Mekanis

DAFTAR ISTILAH

1. Controlled landfill Sampah dikubur berlapis-lapis. Setiap lapisan dipadatkan untuk mengurangi volume. TPA dirancang dengan pelapis dan sistem pengumpulan lindi untuk mencegah pencemaran lingkungan. Tujuannya adalah meminimalkan dampak lingkungan, seperti polusi air tanah dan emisi metana, sekaligus membuang sampah dengan aman. TPA terkendali dianggap sebagai pilihan yang lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan tempat pembuangan sampah terbuka atau tidak terkelola
2. Daur ulang berarti mengumpulkan dan mengolah bahan-bahan yang seharusnya dibuang, mengubahnya menjadi produk baru. Hal ini membantu:
 - Melestarikan sumber daya alam.
 - Mengurangi sampah TPA.
 - Mengurangi emisi gas rumah kaca.
 - Menghemat energi dan air.

Bahan-bahan daur ulang yang umum meliputi:

- Kertas,
- Plastik,
- Kaca,
- Logam,
- Elektronik.

Daur ulang membantu menutup siklus daur ulang, memberikan kehidupan baru pada bahan-bahan lama dan mengurangi dampak lingkungan dari sampah.

3. Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer Bumi yang panas, sehingga berkontribusi terhadap Efek Rumah Kaca. Proses alami ini

menjaga planet kita tetap hangat untuk kehidupan. Namun, aktivitas manusia telah meningkatkan konsentrasi gas rumah kaca, yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Gas-gas rumah kaca yang umum meliputi: Karbon dioksida (CO_2), Metana (CH_4), Dinitrogen oksida (N_2O), Gas-gas terfluorinasi (F-gas). Gas-gas ini berasal dari sumber-sumber seperti: Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak, gas), deforestasi pertanian, proses industri. Mengurangi emisi gas rumah kaca membantu mengurangi dampak perubahan iklim.

4. *Open dumping* adalah metode pembuangan sampah di mana sampah dibuang secara tidak terkendali, seringkali di area terbuka atau lubang, tanpa pengelolaan atau perlindungan lingkungan yang memadai. Hal ini dapat menyebabkan:
 - Pencemaran lingkungan (udara, air, tanah).
 - Risiko kesehatan (penularan penyakit, serangan hama).
 - Bahaya keselamatan (kebakaran, ledakan).

Pembuangan terbuka dianggap sebagai praktik primitif dan berbahaya, seringkali dikaitkan dengan:

- Lubang atau area tanpa lapisan.
- Tidak ada pemadatan atau penutupan sampah.
- Tidak ada pengelolaan lindi atau gas.

Hal ini merupakan masalah lingkungan dan kesehatan yang signifikan, terutama di daerah berkembang. Tempat pembuangan akhir terkendali (*Controlled Landfill*) atau tempat pembuangan akhir sanitasi (*sanitary landfill*) merupakan alternatif yang lebih disukai.

5. Pengelolaan sampah adalah rangkaian kegiatan yang meliputi pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan, dan pembuangan sampah dengan cara yang meminimalkan dampak lingkungan dan kesehatan.

Tujuannya meliputi:

- Mengurangi timbulan sampah
- Meningkatkan daur ulang dan penggunaan kembali
- Pembuangan sampah yang tepat
- Meminimalkan polusi dan risiko kesehatan

Pengelolaan sampah yang efektif meliputi:

- Pemilahan dan pemilahan
- Pengumpulan dan pengangkutan
- Pengolahan (daur ulang, pengomposan)
- Pembuangan (tempat pembuangan akhir, pembakaran)

6. Pemerintah daerah. Mengacu pada badan administratif yang bertanggung jawab untuk mengatur wilayah geografis tertentu, seperti: Provinsi, kabupaten, Kotamadya, dan kota. Pemerintah daerah adalah yang paling dekat dengan masyarakat, sehingga mereka krusial dalam memenuhi kebutuhan dan permasalahan masyarakat.

7. Pemanasan global adalah peningkatan temperatur dalam jangka panjang, suhu permukaan rata-rata Bumi naik akibat aktivitas manusia. Pemanasan global memiliki dampak serius terhadap ekosistem, kesehatan manusia, dan perekonomian. Mengurangi emisi gas rumah kaca dapat membantu mengurangi dampaknya. Sumber utama pemanasan global antara lain:

- Pembakaran bahan bakar fosil (batu bara, minyak, gas).
- Deforestasi.
- Proses industri.

Peningkatan suhu ini menyebabkan perubahan iklim, yang menyebabkan:

- Mencairnya lapisan es dan gletser.
 - Kenaikan permukaan laut.
 - Peristiwa cuaca ekstrem (gelombang panas, kekeringan, banjir).
 - Perubahan pola presipitasi.
8. *Refuse-Derived Fuel* (RDF) adalah bahan bakar yang dihasilkan dari bahan limbah, biasanya sampah kota. Limbah tersebut diproses untuk menghilangkan bahan daur ulang dan menciptakan sumber bahan bakar yang konsisten. Produksi RDF melibatkan pemilahan, penghancuran, dan pengolahan limbah menjadi bentuk bahan bakar yang dapat digunakan.

RDF dapat digunakan:

- Sebagai alternatif bahan bakar fosil
- Di pembangkit listrik atau fasilitas industri
- Untuk menghasilkan listrik atau panas

Manfaatnya meliputi:

- Mengurangi sampah TPA
 - Menurunkan emisi gas rumah kaca
 - Menyediakan sumber energi terbarukan
9. "Reduce, Reuse, Recycle (3R)" adalah pendekatan pengelolaan sampah yang bertujuan meminimalkan sampah dan melestarikan sumber daya. Pendekatan 3R membantu melestarikan sumber daya alam, mengurangi sampah TPA, dan mengurangi polusi lingkungan.

Pendekatan ini meliputi:

- Reduce: Meminimalkan timbulan sampah dengan memilih produk dengan kemasan minimal, membeli dalam jumlah besar, dan menghindari barang sekali pakai.
 - Reuse: Menemukan kegunaan baru untuk barang-barang alih-alih membuangnya, seperti menggunakan tas, wadah, dan botol air yang dapat digunakan kembali.
 - Recycle: Mengolah bahan bekas menjadi produk baru, seperti mendaur ulang kertas, plastik, kaca, dan logam.
10. Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat, terutama sampah rumah tangga, yang dibuang atau ditolak. Sampah dapat mencakup: Sampah makanan, Kertas, Plastik, Kaca, Logam, Bahan lain yang tidak diinginkan.
11. Sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga yang tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
12. Sampah rumah tangga, juga dikenal sebagai sampah domestik, mengacu pada sampah yang dihasilkan dari kegiatan rumah tangga, termasuk:
Sampah makanan, kertas, plastik, kaca, logam, tekstil, bahan kemasan. Pengelolaan sampah rumah tangga meliputi: pemilahan (sortir), daur ulang, pengomposan.
13. Sampah organik adalah sampah yang berasal bahan sampah yang dapat terurai secara hayati dan berasal dari organisme hidup, seperti: Sampah makanan (buah, sayur, dll.), Potongan halaman (daun, ranting), Produk kertas, Pupuk kandang, Hal ini membantu mengurangi sampah TPA, menciptakan sumber daya berharga, dan mendukung praktik berkelanjutan.

Sampah organik dapat dikelola melalui:

- Pengomposan: Mengurai sampah menjadi tanah yang kaya nutrisi.
 - Pencernaan anaerobik: Menghasilkan biogas (energi) dari sampah.
14. Sampah non-organik mengacu pada bahan sampah yang bukan berasal dari organisme hidup dan tidak dapat terurai secara hayati, seperti: plastik, logam, kaca, bahan sintetis, elektronik. Bahan-bahan ini seringkali dapat didaur ulang, digunakan kembali, atau dibuang di tempat pembuangan akhir (TPA). Pengelolaan sampah non-organik yang tepat membantu mengurangi polusi lingkungan dan melestarikan sumber daya.
15. Limbah spesifik adalah jenis limbah tertentu yang memerlukan penanganan, pembuangan, atau pengelolaan khusus karena karakteristik, komposisi, atau potensi dampaknya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia. Pengelolaan limbah spesifik yang tepat membantu mengurangi risiko lingkungan dan kesehatan. Contohnya meliputi: limbah berbahaya (bahan kimia, baterai), limbah elektronik (limbah elektronik, barang elektronik bekas), limbah medis (bahan infeksius), limbah beracun (bahan kimia, pestisida), limbah konstruksi dan pembongkaran.
16. Sampah liar adalah limbah yang dibuang dengan cara yang tidak sah atau dilarang, seperti:
Membuang limbah di lokasi yang tidak sah (misalnya, jalan, taman, perairan). Membuang limbah berbahaya tanpa izin atau fasilitas yang sesuai. Menyelundupkan atau mengeksport limbah ke negara lain tanpa mematuhi peraturan. Pembuangan limbah ilegal dapat membahayakan lingkungan, kesehatan manusia, dan ekosistem.

Pengelolaan limbah yang tepat dan penegakan peraturan sangat penting untuk mencegah kegiatan pembuangan limbah ilegal.

17. Sumber sampah adalah asal timbulan sampah. Sampah dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk:

- Domestik/Perumahan: Sampah rumah tangga dari rumah dan apartemen.
- Industri: Sampah yang dihasilkan dari proses manufaktur, konstruksi, dan industri.
- Komersial: Sampah dari bisnis, perkantoran, dan toko.
- Agrikultur: Sampah dari peternakan, peternakan, dan kegiatan pertanian.
- Konstruksi dan Pembongkaran: Sampah dari lokasi pembangunan, renovasi, dan pembongkaran.
- Layanan Kesehatan: Sampah yang dihasilkan dari rumah sakit, klinik, dan fasilitas medis.

Mengidentifikasi sumber sampah membantu mengembangkan strategi pengelolaan sampah yang efektif.

18. Tempat pengolahan sampah dengan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) yang selanjutnya disebut TPS3R adalah tempat dilaksanakannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, dan pendauran ulang.

19. Fasilitas Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) adalah sistem pengelolaan sampah komprehensif yang menggabungkan berbagai teknologi pengolahan dan pengolahan sampah untuk mengelola berbagai jenis sampah secara efisien. TPST dapat membantu masyarakat mencapai praktik pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

Fasilitas ini dapat mencakup:

- Fasilitas daur ulang
- Unit pengomposan
- Instalasi pengolahan sampah menjadi energi
- Tempat Pembuangan Akhir (TPA)
- Stasiun pemilahan dan pemindahan

TPST bertujuan untuk:

- Memaksimalkan pengalihan sampah dari TPA
- Meminimalkan dampak lingkungan
- Memulihkan sumber daya (energi, material)
- Mengurangi biaya pembuangan sampah
- Dengan mengintegrasikan berbagai proses pengelolaan sampah.

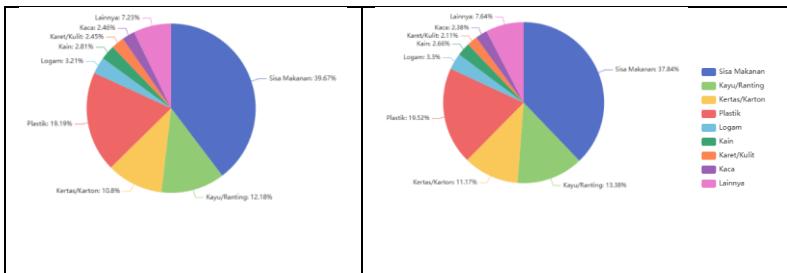
20. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah tempat pemrosesan akhir sampah di mana sampah dikubur di dalam tanah. TPA dirancang untuk menampung dan mengelola sampah, tetapi dapat menimbulkan masalah lingkungan, seperti kontaminasi lindi air tanah.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Selayang Pandang Pengelolaan Sampah Di Indonesia

Peningkatan volume sampah dan keberagaman jenisnya berbanding lurus dengan peningkatan jumlah penduduk serta peningkatan ekonomi yang mempengaruhi pola konsumsi juga gaya hidup. Menurut data Bank Dunia dengan tajuk *The Atlas of Sustainable Development Goals* 2023, Indonesia pada tahun 2020 menempati posisi ke-5 penghasil sampah terbesar di dunia. Sampah dari berbagai sumber bermuara di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sampah. TPA sampah ini menampung sampah sebagian besar kota di Indonesia yang bersumber dari pemukiman, perkantoran, pasar, taman rekreasi dan lain sebagainya. Hadirnya TPA ini memang dapat mengurangi timbulan-imbulan sampah yang berserakan di jalanan, lebih ekonomis dan efisien dalam mengolah sampah secara sederhana. Selain itu, hadirnya TPA memberi keuntungan ekonomi yang dapat dirasakan oleh masyarakat sekitar, khususnya bagi mereka dengan ekonomi menengah kebawah. Mereka dapat mengumpulkan rejeki dengan bekerja di bagian pemilahan sampah ataupun pengangkutan sampah. Namun, data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2023 menunjukkan bahwa timbulan sampah nasional mencapai 32.103.043,36 ton per tahun. Dari jumlah tersebut, 4.668.644,01 ton (14,54%) sampah yang baru bisa dikurangi, dan 15.944.066,96 ton (49,67%) sampah yang ditangani. Secara total, 20.612.710,97 ton sampah (64,21%) dikelola, sementara 11.490.332,39 ton (35,79%) masih belum terkelola. Pada tahun 2024, timbulan sampah meningkat menjadi 34.969.723,79 ton per tahun dengan komposisi sampah 2 tahun berturut tersebut menunjukkan tidak terlalu berbeda seperti pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah

Sumber: (SIPSN, 2024)

Kenaikan jumlah timbulan sampah, menyebabkan TPA menjadi mencapai overload dengan buangan sampah yang tinggi tiap bulannya, sedangkan ukuran TPA tidak bertambah. Tambahan lagi pada prakteknya jenis TPA menggunakan metode *open dumping* yang masih memiliki banyak kekurangan dan mendatangkan kerugian dan ancaman kesehatan. Akibatnya, penumpukan sampah menimbulkan masalah seperti pencemaran air, udara, berkembangnya bibit penyakit, bahkan longsor, terutama di TPA sampah. Selain itu, penyakit bawaan udara (*Airborne disease*) seperti asma, ISPA, dan gangguan pernapasan lainnya. Penyebaran penyakit oleh vektor-vektor penyakit yang berasal dari sampah serta penyakit lainnya yang berhubungan dengan sanitasi lingkungan.

Masalah sampah masih menjadi isu nasional terutama bagi daerah perkotaan dikarenakan keterbatasan lahan untuk tempat pembuangan sampah. Permasalahan TPA yang sangat kompleks juga meliputi kendala dalam manajemen pengelolaan sampah. Keterbatasan kapasitas TPA dengan semakin bertambahnya produksi sampah cukup menjadi tantangan besar bagi seluruh *stakeholder* terakit persampahan di Indonesia. Hampir seluruh Kabupaten/kota mempunyai problem yang sama terkait timbulan sampah yang tidak terselesaikan dengan baik. TPA yang ada saat ini

dalam penanganannya masih melakukan dengan metode open dumping atau paling tidak control landfill hanya beberapa kabupaten/kota yang menerapkan metode *Sanitary Landfill*. Ke 3 (tiga) metode pemrosesan akhir tersebut belum menyelesaikan masalah pengelolaan sampah, karena akan menjadi bom waktu apabila kapasitas sudah melampui daya tampungnya. Oleh karena itu, perlu selalu diupayakan pengelolaan sampah yang efektif dengan berbagai kebijakan dan strategi masing-masing daerah untuk pemenuhan target pengurangan dan penanganan sampah yang telah ditetapkan.

1.2 Eksternalitas Pengolahan Sampah Menjadi RDF

Eksternalitas adalah benefit dan manfaat yang ditimbulkan oleh pengelola Sampah. Dalam konteks bisnis benefit dapat berupa **Keuntungan Finansial** berupa pendapatan atau penghematan biaya, yang kedua dapat berupa **Peningkatan Kualitas Hidup**, yaitu manfaat yang meningkatkan kesejahteraan atau kepuasan. Eksternalitas dapat bersifat menguntungkan (*positive externalities*) atau bersifat merugikan (*negative externalities*).

Pengolahan Sampah Berbasis *Refused Derived Fuel (RDF)* di Indonesia adalah salah satu alternatif penyelesaian masalah pengolahan sampah yang ramah lingkungan dan berkelanjutan, karena sampah dapat diolah menjadi substitusi bahan bakar. RDF memiliki beberapa keunggulan dibandingkan bahan bakar fosil konvensional, seperti mengurangi emisi gas rumah kaca, menghemat tempat pembuangan sampah, menciptakan lapangan kerja, dan menghasilkan pendapatan dari sampah. Seiring dengan meningkatnya urbanisasi, kebutuhan akan pengelolaan sampah yang efektif menjadi semakin mendesak, penerapan RDF menawarkan solusi yang menjanjikan untuk mengatasi tantangan pengelolaan sampah sekaligus memenuhi permintaan energi negara yang terus meningkat.

Dalam laporan *Desk Study On The Potential And Technical Requirements For Utilisation Of Refuse-Derived Fuel Technologies & Rdf Off-Takers In Indonesia: Volume 1: framework analysis for rdf deployment and findings* bulan December 2023 dituliskan bahwa Indonesia merupakan salah satu penghasil sampah kota (MSW) terbesar di Asia Tenggara, 200.000 Mt sampah kota dihasilkan di seluruh negeri setiap harinya. Rata-rata, sekitar 384 kota besar di Indonesia menghasilkan sekitar 2,2–2,7 kg sampah kota per kapita setiap harinya (Brotosusilo dan Handayani, 2020).

Studi pustaka ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penerima Bahan Bakar yang Berasal dari Sampah (RDF) di Indonesia, dengan fokus pada kesiapan berbagai sektor ekonomi untuk menerima RDF dan mengeksplorasi potensi investasi untuk fasilitas RDF. Pembangunan proyek RDF *off taking* di Indonesia, yang melibatkan produksi RDF sebagai bahan bakar dari sampah kota, kemudian memasoknya ke pihak pengguna akhir. Implementasi proyek berbasis RDF yang sukses akan mendatangkan manfaat ekonomi dan lingkungan yang signifikan, seperti berkurangnya ketergantungan pada bahan bakar fosil, emisi GRK yang lebih rendah, penciptaan lapangan kerja, dan praktik pengelolaan limbah yang lebih baik. Hal ini, pada gilirannya, akan berkontribusi pada transisi Indonesia menuju ekonomi sirkular dan pencapaian tujuan keberlanjutan nasional dan internasionalnya. Namun, sebelum melaksanakan proyek tersebut, penting untuk mengevaluasi kelayakannya berdasarkan berbagai kriteria. Bahan substitusi bahan bakar (RDF) adalah jenis bahan limbah padat yang diproduksi dari sampah kota (MSW) dengan cara memilah, mencacah, mengeringkan, dan memadatkan fraksi yang mudah terbakar. RDF dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil dalam berbagai aplikasi industri, seperti kiln semen, pembangkit listrik, dan boiler.

Sampah perkotaan dapat diolah menjadi RDF, bahan bakar alternatif yang hemat energi, ramah lingkungan, dan ekonomis. RDF lebih murah

daripada batu bara dan dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Terlebih lagi Pemerintah telah meratifikasi Paris Agreement melalui Undang Undang No. 16 tahun 2016 tentang Pengesahan Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim) dan Peraturan Pemerintah Nomor 46 tahun 2017 tentang Instrumen Ekonomi Lingkungan Hidup (Lembaran Negara RI tahun 2017 nomor 228) yang didalamnya memuat kewajiban Pemerintah dalam kontribusi pengurangan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) untuk membatasi kenaikan suhu rata-rata global dibawah 2oC hingga 1,5oC dari tingkat suhu pra industrialisasi.

Pengolahan Sampah berbasis *Refused Derived Fuel (RDF)* dengan subyeknya adalah dengan mengolah sampah berbasis RDF dapat menurunkan Emisi Gas Rumah kaca (GRK) karena sampah yang masuk ke instalasi langsung diproses menjadi bahan baku RDF tidak sempat bertumpuk-tumpuk dan membusuk yang menimbulkan dekomposisi gas CO_2 dan CH_4 sebagai kontributor dari emisi GRK. Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) RDF salah satunya dimaksud dan bertujuan untuk melakukan inisiasi upaya mitigasi dan berkontribusi dalam mewujudkan gerakan penurunan emisi GRK secara langsung. Hal ini juga merupakan upaya penurunan emisi carbon dapat diapresiasikan sebagai harga jual Karbon (*Carbon Trade*).

Banyak pemerintahan saat ini menghadapi tekanan fiskal yang sangat besar di tengah lingkungan ekonomi yang kompleks dan tidak pasti. Dalam konteks ini, penetapan harga karbon menawarkan alat yang ampuh yang dapat memobilisasi keuangan dan mengamankan hasil pembangunan bahkan selama periode ketidakpastian. Seperti kita ketahui, sistem perdagangan karbon di Indonesia merupakan langkah strategis dalam pengurangan dampak perubahan iklim, selain menjaga keseimbangan

antara pertumbuhan ekonomi Indonesia dalam mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK). Dalam *Enhanced Nationally Determined Contribution (E-NDC)*, target Indonesia untuk pengurangan emisi GRK pada tahun 2030 adalah sebesar 31,89% dengan usaha sendiri dan 43,20% dengan bantuan internasional sesuai *penetapan Enhanced-Nationally Determined Contribution (E-NDC)* pada tahun 2030. Target ini adalah bagian dari upaya mencapai *Net Zero Emission* pada tahun 2060 atau lebih cepat. Menurut Kementerian ESDM, terjadi peningkatan atas penurunan GRK yang melebihi target yang sudah ditetapkan. Data menunjukkan bahwa realisasi penurunan GRK pada tahun 2017 mencapai 29 juta ton, 2018 sebesar 40 juta ton, tahun 2019 sebesar 54,8 juta ton, 2020 sebesar 64,4 juta ton, tahun 2021 sebesar 70 juta ton, tahun 2022 sebesar 91,5 juta ton dan tahun 2023 penurunan GRK mencapai 127,67 juta ton pada Sektor Energi sebesar 127,67 yang melebihi target yaitu sebesar 116 juta ton CO₂. Target capaian *Net Zero Emission* pada tahun 2060, Pemerintah terus melakukan beberapa aksi mitigasi sektor energi berkaitan dengan penurunan GRK ini dengan mengimplementasi EBT, aplikasi efisiensi energi, dan penerapan bahan bakar rendah karbon (gas alam), dan penggunaan teknologi yang pembangkit bersih.

(World Bank, 2025) melaporkan dalam *State and Trends of Carbon Pricing* bahwa belajar dari negara tetangga, sistem perdagangan karbon berbasis tarif nasional menentukan batas emisi berdasarkan teknologi yang digunakan oleh entitas. Negara-negara termasuk Brasil, India, dan Turki, bergerak maju dengan kerangka kerja penetapan harga karbon domestik. Negara lain, termasuk Zambia, Tanzania, Paraguay, dan Vietnam, memposisikan diri untuk berpartisipasi dalam pasar karbon internasional. Pasar karbon juga meningkat secara global. Pasar kredit karbon memainkan banyak peran. Pasar ini mendukung komitmen iklim, menurunkan biaya teknologi baru, dan membiayai solusi berbasis alam

seperti restorasi hutan. Namun, pasar ini melakukan lebih dari sekadar penghematan karbon; pasar ini memberikan dividen pembangunan dalam bentuk akses energi yang lebih terjangkau, bahan bakar memasak yang lebih bersih, dan hutan yang lebih sehat, dan masih banyak lagi. Pertumbuhan dari kurang dari 10 instrumen pada tahun 2005 menjadi 80 saat ini merupakan pengingat kemajuan global dalam penetapan harga karbon langsung. Selama lebih dari 20 tahun, rangkaian laporan Keadaan dan Tren Penetapan Harga Karbon telah memberikan pemeriksaan denyut nadi global yang penting—menawarkan wawasan yang ketat dan berbasis bukti tentang kebijakan dan perkembangan tahanan yang dapat mendorong pengembangan dan meningkatkan solusi yang berdampak.

RDF sebagai salah satu bahan bakar ramah lingkungan, tentu diharapkan ikut aktif dalam perjalanan pencapaian target pengurangan emisi dan perdagangan karbon. RDF berperan dalam perdagangan karbon karena memiliki kemampuan untuk menggantikan bahan bakar fosil, sehingga mengurangi emisi karbon. RDF dapat digunakan di dalam berbagai industri, pembangkit listrik dan industri semen sebagai. Hal ini tentu dapat mengurangi ketergantungan pada batu bara dan bahan bakar fosil lainnya, serta membantu mencapai target energi terbarukan.

1.3. Kerangka Pikir Pengelolaan Sampah Berbasis RDF

Untuk mengatasi darurat sampah di Indonesia. Saat ini TPA secara nasional diproyeksikan akan penuh maksimal pada tahun 2030 apabila tidak terdapat upaya perbaikan terhadap pengelolaan sampah di daerah (Kementerian PPN/Bappenas, 2023). Rantai penanganan persampahan yang masih bertumpu pada kumpul-angkut-buang dan minimnya upaya pengurangan menyulitkan pencapaian target untuk No TPA dan minim residu pada tahun 2045.

Konsep dasar kajian ini adalah melakukan upaya pengelolaan sampah rumah tangga, sampah non rumah tangga, dengan bertumpu pada metode Kumpul – Angkut – Proses – Buang yang terpadu dan terintegrasi melalui pengolahan sampah berbasis RDF di Indonesia, dengan melakukan kajian menggunakan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif dengan menganalisa terkait pengelolaan sampah di Indonesia saat ini dan mendapatkan Potensi RDF di Indonesia menarik, terutama untuk industri. Dengan tabulasi dan analisis, kita bisa lihat bagaimana RDF bisa jadi solusi energi alternatif yang efektif dan ramah lingkungan.

Beberapa industri sudah mulai memanfaatkan RDF, tapi masih banyak potensi yang belum tergarap



Gambar 1. 2 Tahapan Proses dan Pengelompokan Kegiatan Berdasarkan Proses

(Sumber: Hasil Analisis Penulis)

Adapun metodologi dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengambilan Data

Terkait data primer penulis melakukan konsultasi dan diskusi dengan Asosiasi Semen Indonesia dan juga dengan narasumber penyusun buku Analisis Potensi *Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF)* untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi terbitan ERIC DKTI, 2023. Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari laporan-laporan yang dipublikasikan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR), Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (PPN)/Bappenas, Badan Pusat Statistik (BPS), Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Kementerian Perindustrian (Kemenperin), Laporan Keberlanjutan Industri, dan sumber-sumber lainnya yang relevan, termasuk laporan atau kajian terdahulu.

2. Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada kajian ini terdiri dari 3 (tiga) tahapan. Tahap pertama adalah aspek operasional terkait dengan teknologi proses dan teknologi produksi termasuk didalamnya menganalisis spesifikasi dan klasifikasi RDF yang dapat diterapkan di Indonesia.

Tahap kedua terkait Solusi penanganan sampah dengan mensubstitusi sampah menjadi bahan energi yang disebut RDF. Termasuk mengidentifikasi karakteristik dan kebutuhan setiap industri yang berpotensi memanfaatkan RDF.

Tahap ketiga adalah analisis terkait industri yang dapat memanfaatkan RDF baik dari industri Semen dan Industri Non semen. Analisis ini akan jadi dasar rekomendasi industri prioritas

untuk RDF, meliputi aspek teknologi, kualitas, pasar, ekonomi, dan lainnya. Ini akan membantu pengembangan implementasi RDF di Indonesia

3. Rekomendasi

berdasarkan analisis data, dirumuskan rekomendasi terkait syarat raw material yang layak dimanfaatkan untuk menjadi RDF termasuk off taker yang dapat memanfaatkan RDF dengan katagorinya serta nilai keekonomian dari investasi RDF.

BAB II

(TOPIK KAJIAN I) GAMBARAN UMUM

PENGELOLAAN PERSAMPAHAN DI INDONESIA

2.1 Pengelolaan Sampah Dalam Angka Dan Data

Pada tahun 2024, data timbulan sampah yang dirilis oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (“KLHK”) yang dikutip dari Sistem Informasi Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) mencapai 34,21 juta ton/tahun. Angka pengurangan sampah telah mencapai 13,24%, penanaman sampah 46,51%, sampah terkelola 59,74% dan sampah tidak terkelola 40,26%. Data ini dihimpun dari 317 Kabupaten/kota se-Indonesia (Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, 2024). Angka timbulan sampah ini mengalami penurunan dibandingkan dengan angka yang diterbitkan SIPSN pada tahun 2022, yaitu sebesar 38,54 juta ton. Meskipun Timbulan Sampah yang. Angka ini masih belum dapat menjadi representasi target pengolahan sampah sesuai dengan target pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020-2024 yaitu kebutuhan (pengolahan sampah) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Kementerian LHK) memperkirakan bahwa angka ini akan terus meningkat hingga mencapai 71,3 juta ton pada tahun 2025. Fenomena ini menuntut perhatian serius dalam mengelola sampah agar tidak merusak lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Komitmen Pemerintah dalam Pengelolaan Sampah Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengatasi masalah sampah. Pada tahun 2025, targetnya adalah menangani 70% dari total timbulan sampah nasional, yang setara dengan sekitar 49,90 juta ton. Selain itu, pemerintah juga bertekad mengurangi jumlah sampah sebesar 30% dari angka timbulan nasional, yang berarti mengurangi sekitar 20,90 juta ton sampah.

Komitmen ini didokumentasikan dalam Peraturan Presiden No. 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Nasional (JAKSTRANAS) Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga.

Peran JAKSTRANAS dalam Pengelolaan Sampah yang diatur pada Peraturan Presiden No. 97 Tahun 2017 menjadi landasan bagi upaya pengelolaan sampah di Indonesia. Kebijakan dan Strategi Nasional ini mengatur berbagai aspek, termasuk pengurangan, daur ulang, dan pengelolaan sampah rumah tangga serta sampah sejenisnya. Dengan adanya JAKSTRANAS, diharapkan langkah konkret dapat diambil untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Capaian hingga september 2024 saat ini, dapat dilihat bahwa perkembangan pengelolaan sampah melalui Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) yang dikelola oleh Kementerian LHK. Data dari 344 kota/kabupaten di seluruh Indonesia telah dimasukkan ke dalam sistem ini. Informasi ini memungkinkan kita untuk memantau capaian dan memastikan bahwa komitmen pemerintah dalam mengelola sampah terus berjalan dengan baik. ditampilkan pada tabel di bawah berikut:

Tabel 2. 1 Data Capaian Persampahan pada SIPSN

Sumber: (SIPSN, 2022)

No.	Uraian	Jumlah	Persentase	Target
A	Total Timbulan Sampah Nasional	38.117.919,54	-	-
B	Pengurangan Sampah	5.275.620,05	13,84%	30%
C	Penanganan Sampah	18.588.998,48	48,77%	70%
D	Sampah Terkelola	23.864.618,53	62,61%	100%

No.	Uraian	Jumlah	Persentase	Target
	(D = B + C)			
E	Sampah Tidak Terkelola (E = A - D)	14.253.301,01	37,39%	0%

2.2 Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Rumah Tangga

Tujuan pengelolaan sampah adalah untuk meningkatkan kesehatan masyarakat, menjaga kualitas lingkungan, dan mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan Masyarakat. Pengolahan sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga merupakan tanggung jawab bersama untuk meningkatkan kesehatan masyarakat dan kualitas lingkungan. Pemerintah mengataur terkait sampah rumah tangga dan sampah rumah tangga seperti yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012, termasuk di dalamnya persyaratan sarana dan prasarana sampah sistem desentralisasi. Pengelolaan teknis sampah perkotaan menurut UU No. 18 Tahun 2008 meliputi beberapa tahapan penting dalam pengelolaan sampah.

1. **Pengurangan Sampah:** Kegiatan ini bertujuan mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan melalui pembatasan timbulan sampah, pendauran ulang sampah, dan pemanfaatan kembali sampah.
2. **Penanganan Sampah:** Tahapan ini meliputi:
 - Pemilahan: Pengelompokan dan pemisahan sampah sesuai jenis, jumlah, dan sifat sampah.
 - Pengumpulan: Pengambilan dan pemindahan sampah dari sumber sampah ke tempat penampungan sementara atau tempat pengolahan sampah terpadu.
 - Pengangkutan: Membawa sampah dari sumber dan/atau tempat penampungan sampah sementara ke tempat pemrosesan akhir.

- Pengolahan: Mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah.
- Pemrosesan Akhir: Pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan ke media lingkungan secara aman.

Sampah Rumah Tangga menurut jenisnya antara lain sebagai berikut:

- Sampah Organik: Sampah yang berasal dari makhluk hidup, seperti sisa makanan, kulit buah, dan sayuran. Sampah ini dapat diolah menjadi kompos yang kaya nutrisi untuk menyuburkan tanaman.
- Sampah Anorganik: Sampah yang berasal dari benda-benda non-hayati, seperti plastik, kertas, kaca, dan logam. Sampah ini dapat didaur ulang menjadi produk baru.
- Sampah Berbahaya dan Beracun (B3): Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun, seperti baterai bekas, lampu fluorescent, dan cat bekas. Sampah ini harus dibuang pada tempat khusus.

1. Sumber Sampah

Sumber sampah dalam suatu komunitas dapat dikategorikan menjadi pemukiman, daerah perkantoran dan komersil, institusional, kawasan pertanian dan perkebunan, kawasan industri, konstruksi bangunan, dan fasilitas umum. Berdasarkan sumbernya, sampah dapat dikelompokkan sebagai berikut:

Tabel 2. 2 Sumber-Sumber Sampah

Sumber	Penghasil sampah	Jenis sampah yang dihasilkan
Pemukiman	Perumahan dan Apartemen	Sampah sisa makanan kertas, karton, plastik tekstil kulit, sampah pekarangan kayu, gelas, kaca, kaleng alumunium, besi

Komersil Perkantoran	Toko, Rumah makan, Pasar, Hotel Kantor, Bengkel	Kertas, karton plastik, gelas, kaca minyak, bahan berbahaya, dll
Institusi	Sekolah dan Rumah sakit Penjara	Kertas, karton plastik, sisa makanan gelas, kaca minyak, biomedis, bahan berbahaya, dll
Industri	Pabrik	Scrap, limbah industri, bahan berbahaya, dll
Pertanian	Perkebunan, Ladang Sawah, dan Peternakan	Hama pestisida, bahan berbahaya beracun (b3), sampah kebun, kotoran hewan ternak, dll
Fasilitas umum	Taman Pantai dan Tempat rekreasi	Sisa makanan plastik kertas, karton, sampah taman, dll

Sumber: (Tchobanoglous et al., 1993)

2. Timbulan Sampah

- Menurut UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, timbulan sampah adalah jumlah atau volume sampah yang dihasilkan oleh suatu sumber sampah dalam satuan waktu tertentu. Timbulan sampah dapat diukur dalam satuan berat (kilogram, ton) atau volume (liter, meter kubik).
- Menghitung timbulan sampah sangat penting dalam pengelolaan sampah yang efektif. Dengan mengetahui jumlah sampah yang dihasilkan, pemerintah dan masyarakat dapat Merencanakan Pengelolaan Sampah: Merencanakan pengelolaan sampah yang efektif dan efisien. Mengalokasikan Sumber Daya. Mengalokasikan sumber daya yang tepat untuk pengelolaan sampah. Meningkatkan Kualitas Lingkungan dengan mengurangi dampak negatif sampah terhadap

lingkungan dan masyarakat. Menurut (Lokahita & Damanhuri, 2010) Faktor yang empengaruhi Timbulan Sampah antara lain:

- Jumlah Penduduk: Semakin banyak penduduk, semakin banyak sampah yang dihasilkan.
 - Aktivitas Ekonomi: Aktivitas ekonomi seperti industri, perdagangan, dan jasa dapat meningkatkan jumlah sampah.
 - Pola Konsumsi: Pola konsumsi masyarakat, seperti penggunaan produk sekali pakai, dapat mempengaruhi jumlah sampah.
 - Musim: Musim tertentu, seperti musim liburan atau hari raya, dapat meningkatkan jumlah sampah.
 - Faktor-faktor yang mempengaruhi timbulan sampah antara lain:
 - a. Letak Geografi: Letak geografi dapat mempengaruhi jenis dan jumlah sampah yang dihasilkan.
 - b. Iklim: Iklim dapat mempengaruhi jumlah sampah, terutama di daerah dengan curah hujan tinggi.
 - c. Tingkat Sosial Ekonomi: Tingkat sosial ekonomi dapat mempengaruhi jumlah sampah yang dihasilkan, terutama di daerah dengan pendapatan tinggi.
 - d. Kepadatan Penduduk: Kepadatan penduduk dapat mempengaruhi jumlah sampah yang dihasilkan.
 - e. Kemajuan Teknologi: Kemajuan teknologi dapat mempengaruhi jenis dan jumlah sampah yang dihasilkan.
 - f. Pengukuran timbulan sampah dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran contoh

timbulan sampah, seperti yang tercantum dalam SNI 19-3964-1994. Metode ini meliputi:

- g. Pengambilan Contoh: Pengambilan contoh sampah dilakukan di sumber masing-masing perumahan dan non-perumahan.
- h. Pengukuran Volume: Pengukuran volume sampah dilakukan dengan menggunakan wadah pengukur 40 liter dan ditimbang beratnya.
- i. Pengukuran Berat: Pengukuran berat sampah dilakukan dengan menggunakan timbangan.
- j. Dengan mengetahui timbulan sampah, kita dapat merencanakan pengelolaan sampah yang efektif dan efisien, serta meningkatkan kualitas lingkungan.

3. Komposisi Sampah

Menurut Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah (Republik Indonesia, 2008), komposisi sampah terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

- Sampah rumah tangga: dari kegiatan sehari-hari, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
- Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga: Sampah yang berasal dari kawasan komersial, kawasan industri, kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya.
- Sampah Spesifik: Sampah yang memerlukan pengelolaan khusus karena sifat, konsentrasi, dan/atau volumenya, meliputi:
 - Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun
 - Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun

- Sampah yang timbul akibat bencana
- Puing bongkaran bangunan
- Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah
- Sampah yang timbul secara tidak periodik

4. Karakteristik Sampah

Karakteristik sampah menurut UU No. 18 Tahun 2008 (Republik Indonesia, 2008) dapat dilihat dari beberapa aspek antara lain dari sampah Rumah Tangga yakni Sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga, tidak termasuk tinja dan sampah spesifik. Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga yakni Sampah yang tidak berasal dari rumah tangga, seperti dari kawasan komersial, industri, fasilitas sosial, dan fasilitas umum, yaitu Sampah yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau volumenya memerlukan pengelolaan khusus, yang meliputi Sampah Berbahaya dan Beracun, yaitu Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang antara lain:

- Sampah Limbah B3: Sampah yang mengandung limbah bahan berbahaya dan beracun.
- Sampah Akibat Bencana: Sampah yang timbul akibat bencana.
- Puing Bongkaran Bangunan: Sampah yang berasal dari bongkaran bangunan.
- Sampah yang Belum Dapat Diolah: Sampah yang secara teknologi belum dapat diolah.
- Sampah yang Timbul Secara Tidak Periodik: Sampah yang timbul tidak secara teratur.

Pengelolaan sampah yang efektif dan efisien memerlukan pemahaman tentang karakteristik sampah untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan Masyarakat. Menurut

Tchobanoglous dan Burton (1993), karakteristik sampah dapat dilihat dari beberapa aspek:

- Komposisi Fisik: Sampah dapat terdiri dari berbagai komponen fisik, seperti:
 - Bahan Organik: Sampah yang dapat terurai secara alami, seperti sisa makanan dan sayuran, dengan sumber sampah berasal dari berbagai sumber, seperti sampah yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari di rumah, sampah yang dihasilkan dari kegiatan pertanian
 - Bahan Anorganik: Sampah yang tidak dapat terurai secara alami, seperti plastik, logam, dan kaca.
- Sifat Kimia: Sampah dapat memiliki sifat kimia yang berbeda-beda, seperti:
 - Sampah Berbahaya dan Beracun: Sampah yang mengandung bahan berbahaya dan beracun.
 - Sampah Non-Berbahaya: Sampah yang tidak mengandung bahan berbahaya dan beracun.
 - Industri: Sampah yang dihasilkan dari proses produksi industri.

Kuantitas dan Kualitas: Sampah dapat memiliki kuantitas dan kualitas yang berbeda-beda, tergantung pada sumber dan jenis sampah. Pemahaman tentang karakteristik sampah sangat penting dalam pengelolaan sampah yang efektif dan efisien, sehingga dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Pengujian karakteristik sampah digunakan untuk menentukan fasilitas pengolahan, memperkirakan kelayakan pemanfaatan kembali sampah untuk energi dan merencanakan fasilitas pembuangan akhir. Berikut

diuraikan karakteristik-karakteristik sampah menurut Tchobanoglous, Theisen, dan Vigil (1993):

a. Karakteristik Fisik.

Meliputi berat jenis, kadar air, ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel, field capacity, dan permeabilitas sampah yang terpadatkan.

• **Berat Jenis.**

Berat jenis didefinisikan sebagai berat material per-satuan volume. Data berat jenis sampah sering dibutuhkan untuk memperkirakan total massa dan volume sampah yang harus dikelola. Nilai berat jenis sampah dapat berbeda karena dipengaruhi oleh lokasi geografis, musim tiap tahun, dan lamanya waktu penyimpanan.

• **Kadar Air.**

Pada umumnya kadar air sampah dinyatakan dalam satu dari dua cara. Dalam metode berat basah pengukuran, kelembaban dalam sampel dinyatakan sebagai persentase berat basah bahan sedangkan dalam metode berat kering, hal tersebut dinyatakan sebagai persentase dari berat kering bahan.

b. Karakteristik Kimia.

Meliputi proximate analysis (kadar air, kadar volatil, fixed carbon, dan kadar abu), titik lebur, ultimate analysis (kadar karbon, hidrogen, oksigen, nitrogen, sulfur, fosfor), dan kandungan energi.

- **Proximate Analysis.** Perkiraan analisis untuk komponen-komponen sampah meliputi uji:

- *Moisture* (hilangnya uap air ketika dipanaskan sampai 105°C dalam 1 jam)
- *Volatile combustible matter* (tambahan kehilangan berat pada pembakaran di suhu 950°C dalam wadah tertutup).
- *Fixed carbon* (sisa/residu pembakaran yang tersisa setelah bahan yang menguap dihilangkan).
- Abu (berat residu setelah pembakaran dalam wadah terbuka).

- **Titik Lebur.**

Titik lebur didefinisikan sebagai temperatur dimana abu yang dihasilkan dari proses pembakaran membentuk padatan dari proses leburan dan aglomerasi.

- **Ultimate Analysis.**

Analisis ultimatum dari komponen sampah terdiri dari penentuan persentase C (Karbon), H (Hidrogen), O (Oksigen), N (Nitrogen), S (Sulfur), dan Abu. Hasil analisis ultimate digunakan untuk mengkarakterisasi komposisi kimia dari material organik sampah. Hasil analisis ultimate digunakan juga untuk menentukan campuran yang tepat dari sampah untuk mencapai rasio C/N yang tepat untuk proses konversi biologis.

- **Kandungan Energi.**

Kandungan energi komponen organik sampah dapat ditentukan dengan:

- Menggunakan full-scale boiler sebagai kalorimeter.
- Menggunakan bomb calorimeter di laboratorium.
- Menggunakan perhitungan berdasarkan nilai kandungan energi dan literatur.

Kandungan energi pada sampah identik dengan nilai kalor, pembahasan berikut akan difokuskan pada pembahasan nilai kalor.

- **Kalor.**

Kalor merupakan salah satu bentuk energi. Kalor yang dihasilkan sampah berasal pada saat pembakaran sampah. Jumlah panas yang dikeluarkan pada saat pembakaran sebanding dengan panas yang dibebaskan dari sejumlah pembakaran sampah. Nilai kalor biasanya dinyatakan dalam satuan energi per bagian dari bahan, seperti kcal/kg, kJ/kg, Btu/m³. Nilai kalor atau heating value merupakan jumlah energi kalor yang dilepaskan bahan bakar pada saat terjadinya oksidasi unsur–unsur kimia yang ada pada bahan bakar tersebut. Banyaknya nilai kalor yang dihasilkan akan mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan nantinya. Dalam pengukuran nilai kalor yang dihasilkan oleh pembakaran tiap komposisi sampah, nilai kalor dari sampah perkotaan sangat bervariasi antara 5.500 Btu/lbs hingga 10.000 Btu/lbs dapat dilihat dalam Tchobanoglou pada tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Nilai Kalor Sampah

Komponen Sampah	Nilai kalor (kJ/kg)	Nilai Kalor (kcal/kg)
Sisa makanan	3.489 – 6.978	833 – 1.667
Kertas keras	13.956 – 17.445	3.333 – 4.167
Kertas putih	11.630 – 18.608	2.778 – 4.444
Plastik	27.912 – 37.216	6.667 – 8.889
Tekstil	15.119 – 18.608	3.611 – 4.444
Daun	2.326 – 18.608	556 – 4.444
Kaca*	116 – 233	28 – 56
Kaleng*	233 – 1.163	56 – 278

*) nilai ini berasal dari pelapis, label dan matrik yang tertempel

Sumber : Tchobanoglou, 1993

Ada 2 jenis nilai kalor yang digunakan dalam industri yang berbeda, yaitu Higher Heating Value (HHV), dan Lower Heating Value (LHV):

- HHV dikenal sebagai Nilai Kalor Kotor, memperhitungkan panas latent penguapan air dalam produk pembakaran, dan berguna dalam menghitung nilai-nilai pemanasan untuk bahan bakar di mana kondensasi dari produk reaksi praktis.
- LHV dikenal sebagai Nilai Kalor Bersih, mengasumsikan panas latent penguapan air dalam bahan bakar dan produk reaksi belum pulih. Hal ini berguna dalam

membandingkan bahan bakar di mana kondensasi dari produk pembakaran tidak praktis

c. Karakteristik Biologis.

Selain plastik, karet, komponen kulit, fraksi organik sampah dapat diklasifikasikan menjadi komponen yang larut dalam air, seperti gula, pati, asam amino, dan berbagai asam organik lainnya, hemiselulosa, selulosa, lemak, lignin, lignoselulosa.

2.3 Peran Serta Masyarakat Dalam Penanganan Sampah

Pelibatan masyarakat di Indonesia memiliki peran penting dalam penanganan sampah, mengingat masyarakat pula yang menjadi salah satu pelaku aktif penyumbang sampah. Berkat melibatkan masyarakat akan menumbuhkan kesadaran serta keterlibatan secara langsung, sehingga penanganan sampah Kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengentasan masalah sampah, tidak akan muncul begitu saja. Namun, dibutuhkan pendekatan khusus dan terukur berupa pemberian pemahaman terkait sampah itu sendiri. Sebab pada dasarnya, munculnya kesadaran tersebut dipengaruhi oleh pengetahuan yang telah menjadi keyakinan. Selanjutnya akan memunculkan kesadaran serta kepedulian.

Berikut beberapa contoh peran serta masyarakat:

- Pemilahan Sampah: Masyarakat dapat memilah sampah dari sumbernya, seperti memisahkan sampah organik dan anorganik, untuk memudahkan pengelolaan dan daur ulang sampah.
- Pengomposan: Masyarakat dapat mengolah sampah organik menjadi kompos yang bermanfaat bagi tanaman.

- Partisipasi dalam Program Pengelolaan Sampah: Masyarakat dapat berpartisipasi dalam program pengelolaan sampah yang diselenggarakan oleh pemerintah, seperti program Bank Sampah.
- Pendidikan dan Pelatihan: Masyarakat dapat memberikan pendidikan dan pelatihan kepada anggota masyarakat lainnya tentang pengelolaan sampah yang baik.
- Kampanye Peduli Lingkungan: Masyarakat dapat mengadakan kampanye peduli lingkungan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik.
- Gaya Hidup Ramah Lingkungan: Masyarakat dapat mengadopsi gaya hidup ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan plastik, membawa tas belanja sendiri, dan menggunakan botol air minum yang dapat digunakan kembali.

Berdasarkan survei Populix, beberapa perilaku yang telah diterapkan masyarakat dalam pengelolaan sampah adalah:

- Membawa Tas Belanja Sendiri: 80% responden membawa tas belanja sendiri untuk mengurangi penggunaan plastik.
- Membawa Botol Minum Sendiri: 75% responden membawa botol minum sendiri untuk mengurangi penggunaan plastik.
- Membawa Wadah Makan Sendiri: 53% responden membawa wadah makan sendiri untuk mengurangi penggunaan plastik.
- Daur Ulang Sampah Plastik: 45% responden melakukan daur ulang sampah plastik.

Dengan peran serta masyarakat yang aktif, pengelolaan sampah di Indonesia dapat menjadi lebih efektif dan berkelanjutan.

Perlu adanya penekanan akan urgensi literasi sampah di masyarakat sebagaimana di dunia pendidikan ataupun kepada masyarakat umum secara langsung. Penguatan terkait literasi sampah sangat mungkin dimulai

dengan literatur yang paling sederhana. Kesadaran akan pentingnya mengatasi permasalahan sampah juga masih rendah. Bahkan, menurut Badan Riset dan Inovasi Nasional menjelaskan, masih sedikit masyarakat Indonesia yang memiliki kesadaran untuk memilah dan memilih sampah mulai dari rumahnya masing-masing. Hal tersebut yang yang membuat sulitnya pengelolaan sampah di Indonesia. Terkait Pengolahan sampah berbasis RDF masyarakat perlu diberi pemahaman yang komprehensif terkait RDF itu sendiri melalui sosialisasi, media cetak (brosur poster), mas media massa (surat kabar, billboard), media digital/medsos (internet, facebook, twitter, instagram dll), media elektronik (radio, televisi, streaming online), media interaktif (FGD, webinar, konfrensi video, aplikasi mobile) yang bertujuan agar masyarakat paham tidak apriori karena kita menyadari bicara masalah sampah dimata masyarakat sangat sensitive dan imagnya negatif.

2.4 Tantangan Pengelolaan Sampah Kota di Indonesia

Tantangan utama pengelolaan sampah kota di Indonesia terdiri dari:

1. Kurangnya Infrastruktur dan Sumber Daya

Keberadaan infrastruktur yang mendukung pengelolaan sampah masih sangat kurang. Terlebih di beberapa daerah pedesaan, masih menghadapi kendala infrastruktur pengelolaan sampah. Fasilitas yang dimaksud seperti alat daur ulang dan tempat pembuangan akhir yang aman. Banyak kota dan kotamadya juga tidak memiliki kelengkapan peralatan, teknologi, dan tenaga kerja yang dibutuhkan untuk mengumpulkan dan membuang sampah dengan benar. Akibatnya, banyak sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir, menyebabkan bahaya lingkungan dan kesehatan. Selain itu, sumber daya keuangan yang terbatas yang tersedia untuk pemerintah daerah sering kali membuat pengelolaan sampah tidak menjadi

prioritas. Akibatnya, fasilitas pengelolaan sampah sering kekurangan dana, dan biaya untuk menerapkan praktik pengelolaan sampah yang benar seringkali terlalu tinggi untuk rumah tangga berpenghasilan rendah dan usaha kecil.

2. Kurangnya Kesadaran Masyarakat

Pola pikir masyarakat tentang pengelolaan sampah masih jadi tantangan khusus. Pola pikir masyarakat Indonesia saat ini masih melihat sampah sebagai barang yang tak bernilai sehingga mengabaikan proses pemilahan dari sumbernya. Banyak orang yang masih belum menyadari pentingnya praktik pengelolaan sampah seperti pemilahan dan daur ulang sampah. Selain itu, masih kurangnya pemahaman tentang pembuangan limbah B3 yang benar. Akibatnya, limbah B3 sering kali tercampur dengan jenis limbah lainnya dan berakhir di tempat pembuangan akhir, sehingga menimbulkan risiko lingkungan dan kesehatan. Selama ini masih banyak masyarakat yang belum melakukan pengurangan dan pemilahan sampah dengan baik. Padahal, peran masyarakat sangat signifikan dalam upaya pengolahan sampah ini. Diharapkan Hari Peduli Sampah Nasional yang diperingati setiap tanggal 21 Februari menjadi momentum untuk mengubah pola pikir masyarakat tentang pengelolaan sampah ini. Secara kualitatif bahwa memang perubahan perilaku kesadaran publik ini menjadi fokus yang sebenarnya. Membangun perubahan perilaku, membangun kultur tidaklah mudah, tidak dapat dalam waktu cepat dan membutuhkan waktu lama, tetapi inilah yang harus dibangun. Hasil penelitian BRIN di tahun 2024 menemukan bahwa perilaku warga dalam hal mengurangi dan memilah sampah ini masih banyak tergantung pada rasa kepedulian lingkungan yang dimiliki setiap orang. Faktor lingkungan sekitar masing-masing individu ternyata berpengaruh terhadap kepedulian warga untuk melakukan upaya pengurangan sampah. Melihat kenyataan itu, pengelolaan sampah khususnya dari rumah tangga perlu lebih didorong, dimulai dari pemilahan sampah organik dan anorganik. Upaya pemerintah baik daerah atau kota untuk terus

memberikan edukasi serta sosialisasi secara rutin kepada masyarakat, maka masyarakat secara tidak langsung akan dipaksa untuk memilah sampah. Awalnya keterpaksaan, seiring waktu masyarakat dapat terbiasa untuk memilah sampah. Analisis pemerintah terhadap daerah mana yang belum terjajahi oleh program memilah sampah tersebut sehingga banyak kasus masyarakat tidak mengetahui program dan kewajiban tersebut karena tidak adanya sosialisasi di daerah mereka.

3. Pembuangan Ilegal dan Pembakaran Terbuka

Pembuangan sampah secara ilegal dan pembakaran terbuka, terutama di daerah perkotaan, sering kali disebabkan oleh kurangnya akses terhadap layanan pengelolaan sampah, terutama di lingkungan berpenghasilan rendah. Pembuangan ilegal dan pembakaran terbuka sampah merupakan masalah serius yang berdampak negatif pada lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dampak dari kegiatan illegal tersebut antara lain Adalah Pencemaran Udara. Pembakaran terbuka sampah dapat menghasilkan gas-gas berbahaya, seperti dioksin dan furan, yang dapat menyebabkan pencemaran udara dan berdampak pada kesehatan manusia. Dampak lain Adalah Pencemaran Tanah dan Air, pembuangan ilegal sampah dapat menyebabkan pencemaran tanah dan air, sehingga berdampak pada kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Dampak berikutnya Adalah Kerusakan Ekosistem, pembuangan ilegal dan pembakaran terbuka sampah dapat menyebabkan kerusakan ekosistem, seperti hutan, sungai, dan habitat lainnya. Dampak pembuangan illegal dan pembakaran bagi Kesehatan antara lain dapat menyebabkan penyebaran penyakit, seperti infeksi saluran pernapasan dan penyakit kulit, keracunan pada manusia dan hewan, terutama jika sampah tersebut mengandung bahan kimia berbahaya. Yang tak kalah bahayanya Adalah mengakibatkan Gangguan Kesehatan Mental, karena dapat

menyebabkan stres dan kecemasan, pada masyarakat yang terkena dampaknya.

4. Terbatasnya Ruang Penimbunan Lahan

Seiring dengan pertumbuhan populasi dan urbanisasi, permintaan akan ruang TPA semakin meningkat. Biaya pembangunan TPA baru seringkali mahal, sehingga menyulitkan pemerintah daerah untuk membangun fasilitas pengelolaan sampah yang baru.

5. Kurangnya Infrastruktur Daur Ulang

Meskipun beberapa kota telah mulai menerapkan program daur ulang, infrastrukturnya masih belum berkembang, dan pengumpulan serta pengolahan bahan daur ulang sering kali tidak memadai. Selain itu, insentif bagi rumah tangga dan bisnis untuk mendaur ulang juga masih kurang.

Masih peliknya permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia, secara umum ada beberapa hal strategis yang bisa dilakukan untuk mendorong pemerintah kabupaten/kota dalam mencapai target nasional. Dari tantangan di atas, berikut beberapa solusi yang dapat diterapkan:

- a. Pelibatkan peran aktif masyarakat.
- b. Pengelolaan sampah yang tidak baik dapat memberikan permasalahan lingkungan, untuk saat ini, dan di masa mendatang. Oleh karena itu, diperlukan edukasi dan sosialisasi untuk mengubah paradigma dan perilaku masyarakat dalam penanganan sampah yang lebih baik dan berkelanjutan. Sebagai contoh praktek baik yang telah dilakukan masyarakat diantaranya adalah:
- c. Kegiatan sosialisasi dan edukasi kepada masyarakat terkait bagaimana pengelolaan sampah yang tepat. Sebagai contoh

kegiatan pengabdian kepada masyarakat, kegiatan praktikum di kampus, lomba, pameran produk daur ulang, aktivasi Bank Sampah dan lain-lain.

- d. Aksi nyata dan berkelanjutan, di antaranya kampanye, sosialisasi dan membuat gerakan kolaboratif.
6. Pemerataan dan Peningkatan Infrastruktur

Peningkatan infrastruktur dan pemerataan pelayanan pengelolaan sampah sangat penting untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat. Berikut beberapa alasan mengapa:

Manfaat Peningkatan Infrastruktur:

- a. Meningkatkan Efisiensi: Infrastruktur pengelolaan sampah yang baik dapat meningkatkan efisiensi dalam pengumpulan, pengangkutan, dan pengolahan sampah.
- b. Mengurangi Biaya: Infrastruktur yang baik dapat mengurangi biaya pengelolaan sampah dalam jangka panjang.
- c. Meningkatkan Kualitas Lingkungan: Infrastruktur yang baik dapat membantu mengurangi pencemaran lingkungan dan meningkatkan kualitas lingkungan.
- d. Meningkatkan Kesehatan Masyarakat: Infrastruktur yang baik dapat membantu mengurangi penyebaran penyakit dan meningkatkan kesehatan masyarakat.

Manfaat Pemerataan Pelayanan:

- a. Meningkatkan Aksesibilitas: Pemerataan pelayanan pengelolaan sampah dapat meningkatkan aksesibilitas masyarakat terhadap layanan pengelolaan sampah.
- b. Mengurangi Kesenjangan: Pemerataan pelayanan dapat mengurangi kesenjangan dalam pelayanan pengelolaan sampah antara daerah perkotaan dan pedesaan.

- c. Meningkatkan Kualitas Hidup: Pemerataan pelayanan dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan menyediakan layanan pengelolaan sampah yang baik dan memadai.
- d. Meningkatkan Partisipasi Masyarakat: Pemerataan pelayanan dapat meningkatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik.

Dampak Jika Tidak Dilakukan:

- a. Pencemaran Lingkungan: Jika infrastruktur dan pelayanan pengelolaan sampah tidak memadai, dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan berdampak pada kesehatan masyarakat.
- b. Kesenjangan Pelayanan: Jika pelayanan pengelolaan sampah tidak merata, dapat menyebabkan kesenjangan dalam pelayanan antara daerah perkotaan dan pedesaan.
- c. Biaya yang Lebih Tinggi: Jika infrastruktur dan pelayanan pengelolaan sampah tidak memadai, dapat menyebabkan biaya pengelolaan sampah yang lebih tinggi dalam jangka panjang.

Dengan demikian, peningkatan infrastruktur dan pemerataan pelayanan pengelolaan sampah sangat penting untuk meningkatkan kualitas lingkungan dan kesehatan masyarakat, serta mengurangi biaya pengelolaan sampah dalam jangka panjang.

7. Kolaborasi Antar Instansi

Kolaborasi antar instansi sangat diperlukan dalam pengelolaan sampah. Berikut beberapa alasan mengapa:

Manfaat Kolaborasi:

- a. Pengintegrasian Program: Kolaborasi antar instansi dapat membantu mengintegrasikan program pengelolaan sampah yang berbeda-beda, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas.
- b. Pembagian Sumber Daya: Kolaborasi dapat membantu membagi sumber daya, seperti anggaran, teknologi, dan keahlian, sehingga meningkatkan kemampuan pengelolaan sampah.
- c. Pengembangan Kebijakan: Kolaborasi dapat membantu mengembangkan kebijakan pengelolaan sampah yang komprehensif dan terkoordinasi.
- d. Peningkatan Partisipasi Masyarakat: Kolaborasi dapat membantu meningkatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah, sehingga meningkatkan kesadaran dan kepedulian masyarakat.

Instansi yang Perlu Berkolaborasi:

- a. Pemerintah Daerah: Pemerintah daerah perlu berkolaborasi dengan instansi lain untuk mengembangkan kebijakan dan program pengelolaan sampah yang efektif.
- b. Dinas Lingkungan Hidup: Dinas Lingkungan Hidup perlu berkolaborasi dengan instansi lain untuk mengembangkan program pengelolaan sampah yang ramah lingkungan.
- c. Dinas Kesehatan: Dinas Kesehatan perlu berkolaborasi dengan instansi lain untuk mengembangkan program pengelolaan sampah yang aman dan sehat.
- d. Swasta: Swasta perlu berkolaborasi dengan instansi pemerintah untuk mengembangkan program pengelolaan sampah yang efektif dan efisien.

- e. Masyarakat: Masyarakat perlu berkolaborasi dengan instansi pemerintah dan swasta untuk meningkatkan partisipasi dan kesadaran dalam pengelolaan sampah.

Contoh Kolaborasi:

- a. Pengembangan Sistem Pengelolaan Sampah: Kolaborasi antar instansi dapat membantu mengembangkan sistem pengelolaan sampah yang terintegrasi dan efektif.
- b. Pengadaan Teknologi Pengelolaan Sampah: Kolaborasi dapat membantu pengadaan teknologi pengelolaan sampah yang mutakhir dan efektif.
- c. Edukasi dan Kampanye: Kolaborasi dapat membantu melakukan edukasi dan kampanye pengelolaan sampah yang efektif dan terkoordinasi.

Dengan demikian, kolaborasi antar instansi sangat diperlukan dalam pengelolaan sampah untuk meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan kesadaran masyarakat dalam pengelolaan sampah.

8. Memanfaatkan Teknologi Digital

Pemanfaatan teknologi bisa menjadi salah satu solusi dalam menghadapi tantangan. Pengguna media digital dibanding konvensional sehingga, teknologi digital dapat dimanfaatkan dalam pemanfaatan teknologi digital dalam pengelolaan sampah, berikut contohnya antara lain:

- a. Sistem Pelaporan Sampah Digital: Aplikasi pelaporan sampah digital memungkinkan masyarakat untuk melaporkan kondisi sampah di lingkungan sekitar secara langsung kepada pihak berwenang.
- b. Teknologi Pengelolaan Sampah Berbasis IoT (Internet of Things): IoT dapat digunakan untuk memantau kondisi tempat

pembuangan sampah, mendeteksi tingkat kepenuhan, dan mengoptimalkan rute pengangkutan sampah.

- c. Aplikasi Pemilahan Sampah: Aplikasi ini membantu masyarakat memilah sampah berdasarkan jenisnya, sehingga memudahkan proses daur ulang dan pengelolaan sampah.
- d. Platform Jual-Beli Sampah: Platform digital dapat digunakan untuk memfasilitasi jual-beli sampah daur ulang, sehingga meningkatkan nilai ekonomi sampah dan mendorong praktik daur ulang.
- e. Sistem Informasi Geografis (SIG): SIG dapat digunakan untuk memetakan lokasi pembuangan sampah, rute pengangkutan, dan fasilitas pengelolaan sampah, sehingga memudahkan perencanaan dan pengelolaan sampah.
- f. Teknologi Daur Ulang Sampah: Teknologi digital dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses daur ulang sampah, seperti penggunaan robot untuk memilah sampah dan teknologi kimia untuk mengolah sampah menjadi bahan baku baru.
- g. Edukasi dan Kampanye Digital: Media sosial dan platform digital lainnya dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan praktik daur ulang.

9. Menerapkan Insentif dan Sanksi

Untuk mengatasi berbagai tantangan soal sampah, yaitu insentif dan sanksi. Penerapan insentif dan sanksi dirasa bisa meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat secara aktif. Di berbagai daerah di Indonesia telah dijalankan terobosan dalam penerapan insentif dan sanksi ini oleh pemerintah daerah setempat.

Berikut beberapa contoh penerapan insentif dan sanksi dalam pengelolaan sampah:

Insentif:

- a. Penghargaan untuk Masyarakat: Memberikan penghargaan kepada masyarakat yang aktif dalam pengelolaan sampah, seperti penghargaan "Lingkungan Bersih" atau "Masyarakat Peduli Sampah".
- b. Diskon Tarif Sampah: Memberikan diskon tarif sampah kepada masyarakat yang melakukan pemilahan sampah dan mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan.
- c. Pemberian Voucher: Memberikan voucher belanja atau potongan harga untuk produk-produk ramah lingkungan kepada masyarakat yang melakukan daur ulang sampah.
- d. Pengembangan Komunitas: Mendukung pengembangan komunitas yang peduli dengan pengelolaan sampah, seperti komunitas daur ulang atau kelompok masyarakat peduli lingkungan.
- e. Penghargaan untuk Perusahaan: Memberikan penghargaan kepada perusahaan yang menerapkan praktik pengelolaan sampah yang baik dan ramah lingkungan.

Sanksi:

- a. Denda: Memberikan denda kepada masyarakat atau perusahaan yang tidak mematuhi peraturan pengelolaan sampah, seperti tidak melakukan pemilahan sampah atau membuang sampah sembarangan.
- b. Penutupan Usaha: Menutup usaha atau perusahaan yang tidak mematuhi peraturan pengelolaan sampah dan tidak melakukan perbaikan.

- c. Pemberian Sanksi Administratif: Memberikan sanksi administratif, seperti pencabutan izin usaha atau pencabutan subsidi, kepada masyarakat atau perusahaan yang tidak mematuhi peraturan pengelolaan sampah.
- d. Pengawasan dan Pemantauan: Melakukan pengawasan dan pemantauan terhadap masyarakat atau perusahaan yang tidak mematuhi peraturan pengelolaan sampah.
- e. Kampanye Edukasi: Melakukan kampanye edukasi untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya pengelolaan sampah yang baik dan konsekuensi dari tidak mematuhi peraturan.

Penerapan insentif dan sanksi ini dapat membantu meningkatkan kesadaran masyarakat dan perusahaan dalam pengelolaan sampah, serta mendorong praktik pengelolaan sampah yang baik dan ramah lingkungan.

BAB III

(TOPIK KAJIAN 2) PENGOLAHAN SAMPAH

MENJADI RDF

3.1 Kualifikasi RDF di Indonesia

Kualifikasi RDF di Indonesia diatur dalam SNI 8827:2019 tentang Bahan Bakar Sampah Terolah (RDF). Beberapa parameter yang diatur meliputi:

- Nilai kalor: minimal 3.000 kkal/kg
- Kadar air: maksimal 25%
- Kadar abu: maksimal 20%
- Kadar sulfur: maksimal 1%
- Kadar klorin: maksimal 1%

Namun, perlu diingat bahwa kualifikasi RDF dapat berbeda-beda tergantung pada penggunaan dan standar industri yang berlaku.

Dua jenis material mempengaruhi nilai kalor RDF:

- Nilai kalor tinggi: kertas, plastik, karet, kain tekstil, kayu.
- Nilai kalor rendah: sampah basah organik.

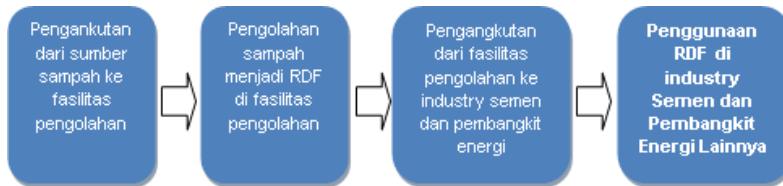
RDF berkualitas baik memiliki nilai kalor tinggi dan konsentrasi senyawa toksik rendah. Kualitas RDF dipengaruhi produsen, pengguna, dan peraturan. Sumber material juga berpengaruh, contohnya sampah domestik menghasilkan RDF dengan nilai kalor rata-rata 4000 kkal/kg. (Lokahita & Damanhuri, 2010). Pada Tabel 3.1 dapat dilihat perbandingan kualitas akhir RDF berdasarkan sumber sampahnya.

Tabel 3. 1 Perbandingan Kualitas Akhir RDF Berdasarkan Sumber Sampahnya

Sumber	Nilai Kalor kkal/kg	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Klor (%)	Sulfur (%)
Permukiman an	2868- 3824	10-35	15-20	0.5-1	-
Komersil	3824- 4780	10-20	5-7	<0.1-	<0.1
Industri	4302,1- 5019,1	3-10	10-15	0.2-1	-

Sumber: (Lokahita & Damanhuri, 2010)

Sampah di Indonesia perlu dikondisikan dulu karena kandungan airnya tinggi. Kriteria RDF: nilai kalor >3000 kkal/kg, sesuai kebutuhan industri semen dan pembangkit energi. Adapun alur pemanfaatan sampah sebagai bahan bakar industry pengguna disajikan seperti terdapat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pemanfaatan Sampah

Pengelolaan sampah menjadi RDF dimulai Ketika sampah masuk kedalam fasilitas pengolahan sampah, yang dilanjutkan dengan pengkondisian sampah dengan beberapa perlakuan sampai dengan penyimpanan. Kondisi sampah yang masuk ke fasilitas pengolahan sampah umumnya mengandung kadar air yang cukup tinggi sehingga nilai kalor yang terkandung belum memenuhi criteria minimum untuk

digunakan sebagai bahan bakar. Untuk memenuhi kriteria minimum, maka sampah perlu dikondisikan dengan beberapa tahapan perlakuan.

Pada awal perlakuan, dilakukan pemilahan awal dilanjutkan pencacahan awal, selanjutnya dilakukan proses pengeringan sampah yang telah mengalami proses pengeringan tersebut akan dapat dipisahkan dengan mudah.

Proses selanjutnya adalah proses penyaringan dimana fraksi yang lolos pengayakan dengan mesh tertentu ditampung berupa pupuk, dan fraksi yang tertahan pada ayakan yang berupa material (besi, logam bukan besi, kaca dan logam mineral lainnya) dipilah untuk diproses lebih lanjut.

Material hasil pemilahan akhir memiliki nilai kalor berkisar antara 3585-4302,1kkal/kg yang terutama terdiri dari plastik, kayu, dan kertas, serta dapat digunakan sebagai substansi bahan bakar fosil di kiln pabrik semen dan PLTU. Komposisi sampah potensial memiliki nilai kalor yang memenuhi persyaratan bagi pemanfaatannya di industry semen, masih tercampur dengan unsur organik. Akan tetapi, komposisi sampah murni kering (*combustible waste*) tanpa unsur organik dapat menaikkan nilai kalor hingga sebanyak 100-500kkal/kg.

Sehingga produk RDF yang dihasilkan akan bergantung pada proses pemilahan dan pengeringan. Hal ini berakibat pada potensi terdapatnya dua jenis RDF yang dapat dihasilkan, yakni RDF yang tertahan pada proses penyaringan dan RDF yang lolos dari hasil penyaringan. Pada prinsipnya RDF yang tertahan pada filter mempunyai nilai kalor cukup tinggi.

3.2 Sejarah Teknologi RDF Di Indonesia

Teknologi RDF di Indonesia relatif masih baru. Dimulai dari tahun 2017, di mana Kemenperin membuat Pedoman RDF sebagai alternatif bahan baku industri semen. Dalam Pedoman tersebut Kemenperin menghasilkan tata cara dan persyaratan pemanfaatan produk RDF di Pabrik Semen. Selain itu, pengelolaan sampah yang efektif melalui RDF juga memberikan dampak ekonomi yang signifikan. Dengan mengubah sampah menjadi sumber energi yang bernilai, RDF menciptakan peluang ekonomi baru dan mendukung ekonomi sirkular. Penggunaan RDF dalam industri semen dan pembangkit listrik tidak hanya mengurangi biaya bahan bakar tetapi juga menciptakan lapangan kerja baru dalam proses pengumpulan, pengolahan, dan distribusi RDF. Dengan demikian, teknologi RDF tidak hanya berkontribusi pada pengelolaan sampah yang lebih baik tetapi juga mendukung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan di Indonesia.

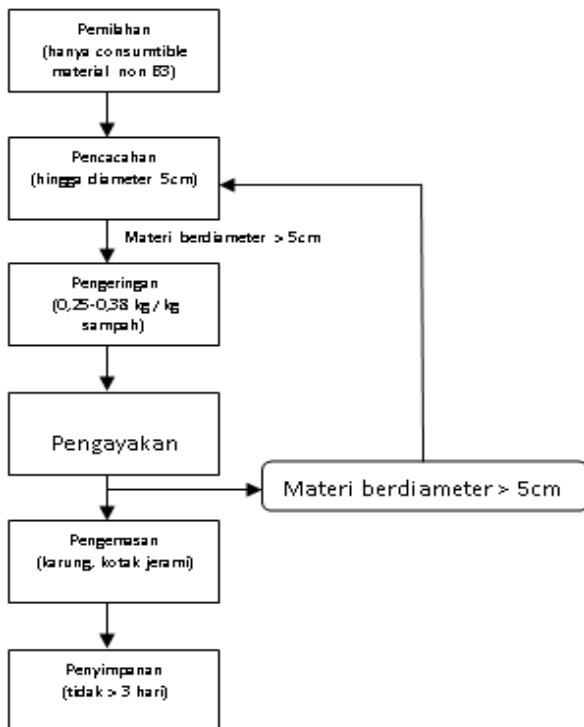
Pilot project pengolahan sampah skala kota menjadi RDF dibangun di Kota Cilacap, dimulai tahun 2016 dan beroperasi tahun 2018. Dengan kapasitas pengolahan 140 ton sampah/hari, RDF yang dihasilkan sebanyak 48,40 ton/hari (34,58%) dengan nilai kalor 3.217 kcal/kg, sehingga memiliki potensi energi sebesar 155.702.800 kcal/hari. Potensi ini membuat RDF digunakan sebagai alternatif sumber energi oleh industri yang dalam prosesnya terdapat pembakaran menggunakan bahan bakar fosil batubara seperti pabrik semen dan PLTU.

Saat ini, beberapa industri di Indonesia telah mulai memanfaatkan RDF sebagai sumber energi alternatif. Industri semen dan pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) adalah contoh utama yang telah berhasil mengintegrasikan RDF dalam operasional mereka. Penggunaan RDF di kiln semen membantu mengurangi konsumsi batu bara, sementara di PLTU, RDF digunakan sebagai bahan bakar tambahan untuk

meningkatkan efisiensi pembakaran. Selain itu, industri lain seperti pabrik kertas dan tekstil juga mulai melihat potensi RDF sebagai solusi energi yang lebih ramah lingkungan. Dengan dukungan teknologi yang tepat, lebih banyak sektor industri dapat mengadopsi RDF, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

3.3 Pedoman Teknis Pengolahan Sampah Menjadi RDF

Sampah perlu dikondisikan melalui beberapa perlakuan untuk memenuhi kriteria RDF di pabrik semen dan pembangkit listrik. seperti pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Pengolahan Sampah menjadi Bahan Bakar RDF

Berikut adalah penjelasan tiap proses:

a. Pemilahan/*Sorting*

Pemilahan sampah umumnya telah dilakukan oleh pihak pengumpul, sampah yang masuk ke fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF pada umumnya kandungan inert materialnya (valuable materials) sudah sangat minim, namun demikian jika memang diperlukan untuk dilakukan pemilahan ulang maka dilakukan setelah proses pengeringan dengan tujuan untuk memudahkan pemilihan karena sampah awal sangat bau sekali. Tujuan dari pemilahan ini untuk mencegah material sampah yang tidak diinginkan masuk kedalam alur proses pengolahan, seperti sampah B3 maupun logam atau kaca karena jika masuk kedalam alur proses pengolahan dapat merusak, menghambat, ataupun mengganggu peralatan saat beroperasi serta menyebabkan kerusakan sebagian bahkan keseluruhan fasilitas. Pemilahan dapat dilakukan secara manual terhadap sampah pada ban berjalan (*belt conveyor*), namun harus dilakukan dengan menggunakan Alat Pelindung Diri (APD) yang lengkap, terutama masker, sarung tangan, serta sepatu keselamatan (*safety shoes*). Umumnya, lebar ban berjalan yang digunakan untuk pemilahan berkisar antara 1,50–2 m dengan kecepatan kurang lebih 0,2 m/s. (Guziana et al., 2012)

b. Pencacahan (*cutting up*)

Pencacahan awal dimaksudkan terutama untuk mengeluarkan sampah yang masih terbungkus dalam kantong agar mempermudah dan mempercepat proses pengeringan. Pencacahan awal sampah dapat dilakukan baik secara manual maupun dengan menggunakan mesin pencacah (*shredding, chipping, milling*).

c. Pengeringan/*drying*

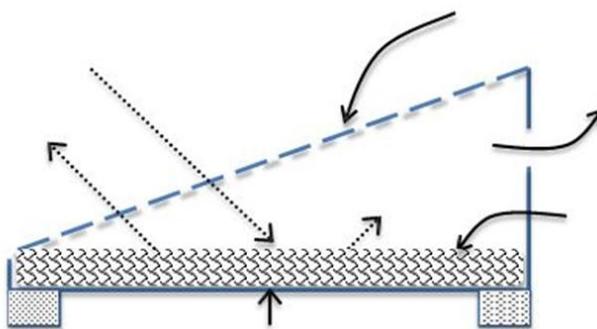
Pengeringan sampah dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam sampah. Adapun kadar air yang harus dihilangkan untuk kondisi rata-rata sampah diIndonesia yakni sebesar 30%-40%. Hal tersebut dilakukan untuk menaikkan nilai kalor pada sampah hingga mencapai 3500kkal/kg, dalam rangka menghasilkan RDF yang berkualitas tinggi.

Beberapa metode pengeringan yang dapat diterapkan yakni:

a. *Solar drying*

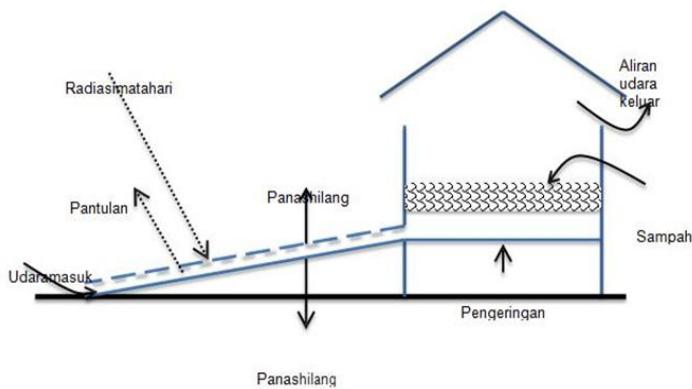
Pengeringan berbasis tenaga surya dapat diklasifikasikan menjadi langsung, tak langsung, dan pengering tenaga surya hibrida (hybrid solar dryers). Pengelompokan ini bergantung kepada metode pengumpulan tenaga surya dan konversinya menjadi energy panas untuk proses pengeringan.

Prinsip kerja Direct Solar Drying (DSD) disebut juga pengering solar cabinet. Disini uap air didorong keluar oleh hembusan udara yang dihembuskan dari bawah yang mendorong uap air keluar lewat jalan keluar diatas. Sebagaimana terlihat pada gambar 3.3 tenaga surya yang memasuki kabinet tersebut sebagian dipantulkan kembali dan sebagian diserap oleh permukaan obyek yang dikeringkan. Permukaan penutup kabinet yang terbuat dari kaca membuat radiasi yang diserap di permukaan sulit dilepas kembali ke atmosfir karena kaca tersebut. Hal ini menyebabkan meningkatnya suhu dibadan obyek dan di ruangan kabinet. (Bozena Guziena, Han Song, Eva Thorum, 2012)



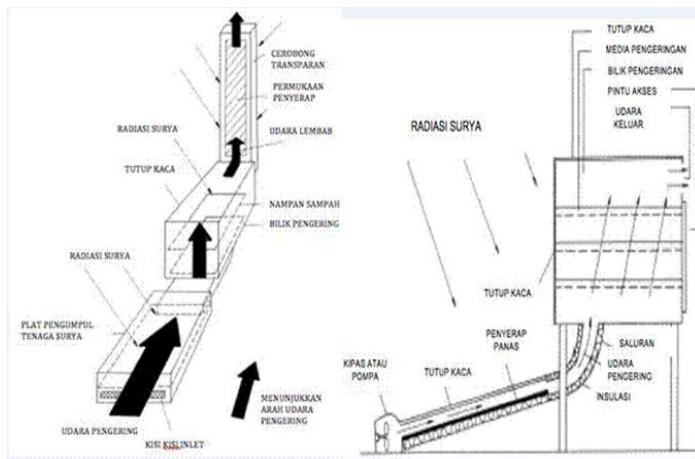
Gambar 3. 3 Prinsip Kerja DSD

Perbedaan mendasar metode pengeringan tidak langsung (ISD) dengan langsung (DSD) terletak pada perpindahan panas dan penghilangan uap air. Gambar 3.4 memperlihatkan prinsip kerja ISD, dimana obyek pengeringan terletak pada rak-rak atau baki di dalam cabinet pengering berwarna buram dialiri udara yang dihembuskan melalui unit pengumpul tenaga surya dan masuk dari bawah rak dan keluar melalui celah yang didesain agar udara yang dihembuskan dapat keluar. Udara yang dihembuskan adalah udara panas yang bertugas mengeringkan obyek melalui perpindahan panas ke permukaan obyek yang basah. Pengeringan terjadi karena adanya perbedaan uap air antara udara panas dan udara diobyek pengeringan.



Gambar 3. 4 Prinsip Kerja ISD

Metode pengeringan tenaga surya hibrida menggabungkan metode pengeringan langsung (DSD) dengan metode tidak langsung (ISD). Sehingga metode yang digunakan adalah radiasi surya langsung terhadap obyek yang dipadukan dengan penghembusan udara melalui pre-heat dari unit pengumpul tenaga surya (solar collector) dapat dilihat pada gambar 3.5. berikut:

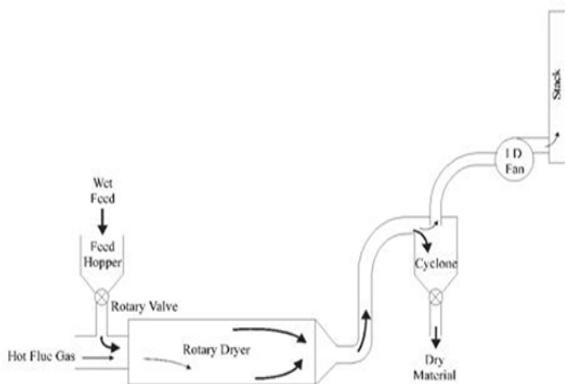


Gambar 3. 5 Pengeringan Tenaga Surya Tipe Hibrida

b. *Steam drying*

Berdasarkan cara penyediaan panas dilakukan, maka jenis pengeringan dibedakan menjadi 2 kategori yakni:

- Pengeringan langsung: materi yang dikeringkan mendapatkan kontak langsung dengan aliran udara penyedia panas, baik aliran udara panas atau dingin.
- Pengeringan tidak langsung: materi yang dikeringkan terpisah dari sumber panas oleh permukaan penukar panas (*heat exchange*). Pada pengeringan tidak langsung, panas latent air yang terevaporasi dapat dipulihkan kembali (*recover*) karena uap air tidak bercampur dengan udara. Hal tersebut dapat dilakukan dengan memvakum materi saat pengeringan dilakukan dan mengkondensi uap air sebelum pompa vakum, atau jika pengeringan beroperasi pada suhu yang cukup tinggi maka uap air akan menguap pada tekanan tinggi. (*Bozena Guziena, Han Song, Eva Thorum, 2012*)
- Tipe *steamdryers* yang umum digunakan untuk bio massa adalah tipe pengering drum berputar (*rotary dryer*). Ada beberapa jenis *rotary dryers*, namun umumnya menggunakan pemanasan langsung *single-passrotary dryer*, seperti pada Gambar 3.6. berikut.



Gambar 3. 6 Single Passrotary Dryer

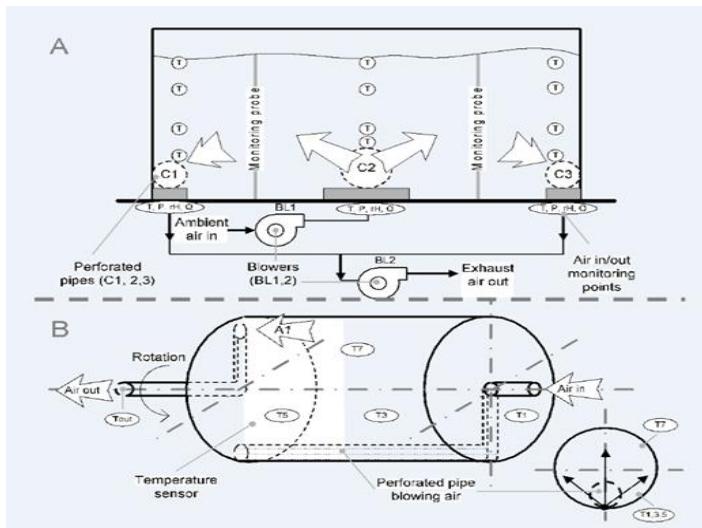
Temperatur inlet drum berputar untuk bio massa berkisar antara 232–1093°C. Sedangkan outlet temperatur dryer berkisar antara 71–110°C, namun rata-rata temperature outlet yakni 104°C untuk mencegah kondensasi asam dan resin. Waktu tinggal materi di dryer kurang dari 1 menit untuk partikel kecil dan berkisar antara 10–30 menit untuk materi yang lebih besar. Adapun persyaratan panas yang dibutuhkan untuk menghilangkan kandungan air yakni 717–1935kkal/kg, dengan rata-rata dalam pengaplikasiannya antara 836,5–1123,3 kkal/kg (*IntercontinentalEngineeringLtd,1980; Mercer,1994*).

c. *Biodrying*

Biodrying juga dikenal dengan sebutan proses stabilisasi, yakni proses bio stabilisasi seluruh fraksi sampah dengan memanfaatkan kandungan biogenous dari sampah tersebut. Proses produksi RDF disebut proses stabilisasi kering (dry stabilitation). Sistem yang diterapkan yakni sistem windrow dan system reaktor/box.

Pada reactor biodrying, sampah dikeringkan melalui konveksi dengan udara, dimana panas yang diperlukan untuk pengeringan diperoleh dari dekomposisi eksotermis fraksi sampah yang mudah terurai. Dalam penerapannya, daur proses biodrying berlangsung selama 7 hingga 15 hari dengan efisiensi pengurangan, terutama kandungan H₂O(g) dan CO₂, sebesar 25 - 30% dari berat awal (inputreaktor) dan mengarah pada kandungan kadar air lebih kecil dari 20% w/w. Laju aliran udara yang tinggi dan pengurangan kadar air dari diresirkulasi udara proses akan menjadikan pengeringan lebih efektif. Selain itu, tingkat/laju aerasi yang tinggi dan terbatasnya proses bio degradasi menghasilkan output yang optimal untuk proses selanjutnya menjadi RDF.

Desain reactor biodrying yakni berupa container yang dilengkapi dengan sistem aerasi, dimana container dapat didesain tertutup, atau berupa ruang open tunnel, ataupun drum berputar (rotating drum). Beberapa desain reaktor tersebut seperti terdapat pada gambar 3.7. Pada gambar 3.8 terdapat dua jenis reactor biodrying yakni kontainer tertutup, dan reactor drum silindris berputar.



Gambar 3. 7 Reactor biodrying

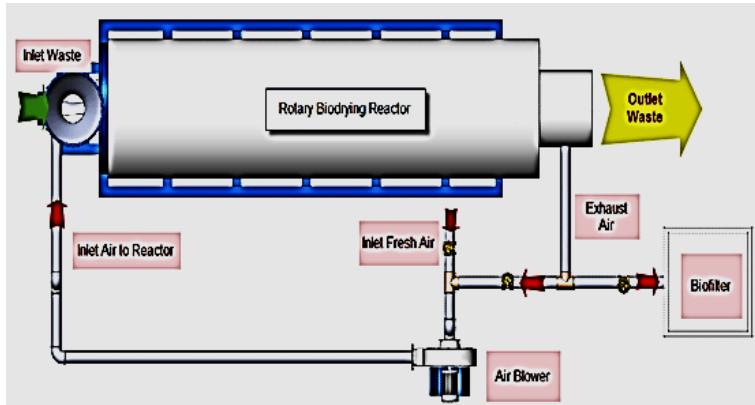
Sumber: (Velis et al., 2009)

Berbeda dengan pengomposan, biodrying bertujuan untuk memberikan perlakuan pendahuluan terhadap sampah dengan waktu tinggal singkat dalam rangka menghasilkan RDF yang berkualitas tinggi. Dimana hal tersebut dapat diperoleh melalui:

- Meningkatkan kandungan energi dengan memaksimalkan berkurangnya kelembapan pada sampah dan menjaga keseluruhan nilai kalor bruto dari kandungan kimia organik dengan meminimalkan terjadinya proses biodegradasi.
- Penambahan/penggabungan kandungan biogenik ke dalam RDF.
- Menghasilkan output yang lebih cocok untuk pengolahan mekanis dengan mengurangi kelengketannya (*adhesiveness*).

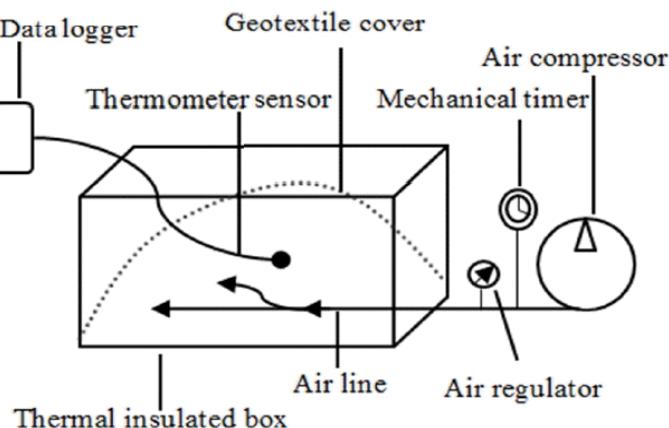
Biodrying menjadikan materi lebih cocok untuk penyimpanan dan pengangkutan dalam waktu singkat, baik dengan proses bio stabilisasi sebagian maupun dengan mengurangi kadar air di bawah ambang batas yang diperlukan untuk terjadinya proses biodegradasi.

(Pedoman pengelolaan RDF, KLHK ,2015)



Gambar 3. 8 Rotary Biodrying

Sumber: (Somsai et al., 2016)



Gambar 3. 9 Bio drying with geotekstile

Sumber: (Chaerul & Wardhani, 2020)



Gambar 3. 10 Biodrying with geotextile

d. *Mechanical Drying*

Pengeringan mekanis pada RDF (Refuse Derived Fuel) adalah proses yang digunakan untuk mengurangi kadar air dalam sampah, yang kemudian akan menjadi bahan bakar alternatif. Proses ini biasanya melibatkan pemanasan sampah dengan udara panas dalam kiln dryer, sehingga air menguap. Seperti pada gambar 3.11.



Gambar 3. 11 Mechanical Drying

Berikut adalah rincian lebih lanjut tentang pengeringan mekanis pada RDF:

1. Proses Pengeringan:

Sampah yang telah dicacah dan dipilah akan dimasukkan ke dalam *kiln dryer*. *Kiln dryer* merupakan sebuah oven besar yang dipanaskan dengan udara panas.

a. Tujuan:

Tujuan utama dari proses pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air dalam sampah sehingga *nilai kalori* atau daya bakar RDF meningkat. Semakin rendah kadar air, semakin baik kualitas RDF.

b. Kelebihan:

Pengeringan mekanis dapat memberikan hasil yang lebih cepat dan terkontrol dibandingkan dengan pengeringan alami atau pengeringan menggunakan mikroorganisme.

c. Contoh Penerapan:

Pengeringan mekanis RDF sering digunakan dalam sistem pengelolaan sampah, seperti di TPST (Taman Pembuangan Sampah Terpadu) Puspa Jelekong yang menggunakan mesin sentris dan pemilah otomatis.

d. Fungsi *Kiln Dryer*:

Kiln dryer berfungsi sebagai tempat untuk memanaskan sampah dengan udara panas, sehingga air yang terkandung di dalamnya menguap dan keluar dari sistem.

e. Pengaruh Kadar Air:

Semakin tinggi kadar air dalam sampah, semakin rendah nilai kalori RDF, dan semakin sulit untuk membakarnya secara efisien.

f. Sistem Pengendalian:

Dalam sistem *Mechanical-Biological Treatment (MBT)*, pengeringan mekanis sering diintegrasikan dengan proses pemilahan dan penghancuran sampah.

g. Hasil Akhir:

RDF yang telah dikeringkan akan memiliki kadar air yang lebih rendah dan nilai kalori yang lebih tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dalam berbagai industri, seperti pabrik semen, kertas, dan pembangkit listrik.

Adapun perhitungan sederhana akan energy yang diperlukan untuk menghilangkan kadar air dalam proses pengeringan, yakni:

Energi (kkal/h) = kandungan uap air (kg/h) x energy latent penguapan (600kcal/kg)

2. Pengayakan

Tahap selanjutnya, yakni pengayakan, bertujuan untuk memisahkan materi berukuran lebih besar dari 5cm, dimana materi tersebut akan kembali ketahap pencacahan. Pengayakan dapat dilakukan secara manual ataupun secara mekanis seperti drum berputar. Namun pengayak tersebut perlu secara berkala dibersihkan untuk menghindari pemampatan materi pada lubang ayakan. Selain itu, material logam juga perlu dihilangkan, baik secara manual ataupun dengan menggunakan mesin pemisah magnetik (magnetic separator)

3. Pengemasan

Material akhir hasil pengayakan berupa serat halus (fluff) tersebut sebelum dikemas dapat diolah lebih lanjut menjadi pellet sesuai dengan kebutuhan. Umumnya produk akhir tersebut dikemas dalam karung ataupun tumpukan kotak seperti jerami.

4. Penyimpanan

Penyimpanan adalah merupakan salah satu titik kritis bagi RDF. Dengan bentuk RDF fluff dan sifatnya hidroskopis, maka penyimpanan RDF harus memenuhi kaidah yang mengutamakan perlindungan terhadap kemungkinan hazard, perlindungan terhadap aspek lingkungan, serta mempertahankan kualitas RDF.

Dalam aktifitas penyimpanan RDF, fasilitas pengguna harus memastikan bahwa penyimpanan tidak menimbulkan potensi hazard dan gangguan lingkungan. Salah satu hazard yang mungkin terjadi adalah kebakaran, sementara gangguan-gangguan terhadap lingkungan yang mungkin terjadi adalah lindi yang dapat menimbulkan kontaminasi air dan tanah, debu, serta munculnya bau yang mengganggu. Sehingga untuk memastikan gangguan tersebut tidak terjadi, hal-hal berikut harus dilakukan:

- a. Memastikan tempat penyimpanan bersifat tertutup dari kemungkinan masuknya air hujan
- b. Mempersiapkan sistem pengaliran air lindi
- c. Mempersiapkan prosedur tanggap darurat kala hazard terjadi
- d. Membuat perencanaan penyimpanan yang matang, agar RDF tidak menumpuk terlalu lama yang berpotensi menurunkan kualitasnya
- e. Melakukan pemantauan lingkungan bagi RDF yang hendak disimpan dalam waktu yang relatif lebih lama

3.4 Spesifikasi Dan Klasifikasi RDF

1. Spesifikasi RDF

Spesifikasi produk RDF yang diusulkan harus dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna akhir produk ini yaitu industri semen. Kunci parameter yang menentukan kualitas RDF sebagaimana bahan bakar umumnya adalah: nilai kalor, kadar air, kadar abu (ash content), komposisi kimia, kadar khlor, kandungan logam berat.

Spesifikasi untuk RDF untuk pabrik semen Indonesia yang disarankan adalah:

Heating Value = 3.000 sampai 4.000 kkal / kg (Net)

- Moisture Content <20%
- Klorin < 1%
- Ukuran = 20-50 mm
- Sulfur <1%
- Bentuk Produk fluffs

Bentuk produk RDF dapat bervariasi tergantung proses produksi RDF, komposisi sampah, sarana transportasi dan kebutuhan pabrik semen. Beberapa bentuk RDF secara umum adalah fluffy, bulk atau pellet. Bentuk produk yang disarankan adalah dalam bentuk fluff (20 mm) karena dapat diumpulkan ke dalam sistem dengan infrastruktur yang sudah tersedia secara umum di pabrik semen, misalnya sistem conveyor pneumatik yang digunakan untuk pengumpulan sekam padi.

Produk harus dalam bentuk yang dapat dimuat dan dibongkar oleh tenaga kerja manual. RDF dengan ukuran lebih besar dari 50 mm akan memerlukan investasi tambahan dalam sistem

pengumpan. Sebaiknya RDF tidak diproduksi dalam bentuk briket karena materi padat dan kadar air rendah menambah investasi pada fasilitas produksi RDF dan karenanya harga bahan bakar alternatif ini akan menjadi tinggi. Karena bahan baku yang digunakan dalam produksi RDF adalah MSW yang terdiri dari campuran berbagai materi, sulit untuk mempertahankan kualitas produk RDF dan potensi terjadi inkonsistensi serta terdaatnya kontaminan yang membahayakan kesehatan manusia cukup besar. Oleh karena itu penting untuk diketahui produsen RDF dan pabrik semen bahwa RDF yang akan diproduksi berada dalam kendali kualitas dan jaminan kualitas yang ketat. Dalam kebanyakan kasus, sumber bahan bakar yang digunakan industri semen memiliki dampak pada kualitas produk semen.

Keluaran Standar spesifikasi dan klasifikasi secara nasional sedang disusun oleh KAN tahun 2025 ini akan di sahkan. Oleh karena itu terkait spesifikasi/klasifikasi RDF masih mengacu kepada standar American Standar Testing and material (ASTM).

Klasifikasi RDF menurut ASTM (American Society for Testing and Materials) dibagi menjadi beberapa jenis, yaitu:

- RDF-1: Municipal Solid Waste (MSW) yang diolah menjadi bentuk kasar, tidak diproses secara signifikan, hanya dipilah dan dihancurkan menjadi ukuran besar.
- RDF-2: MSW yang diolah menjadi ukuran partikel lebih kecil ($80\% < 2$ inch), diproses dengan pemilahan dan penghancuran lebih lanjut.
- RDF-3: MSW yang diolah menjadi ukuran partikel lebih kecil ($95\% < 2$ inch), diproses dengan pemilahan dan penghancuran yang lebih intensif.

- RDF-4: MSW yang diolah menjadi bentuk bubuk ($95\% < 0,5$ inch), diproses dengan penghancuran yang sangat halus.
- RDF-5: MSW yang diolah menjadi bentuk cair, diproses dengan teknologi konversi termal atau kimia.
- RDF-6: MSW yang diolah menjadi bentuk gas, diproses dengan teknologi gasifikasi atau pirolisis.
- RDF-7: MSW yang diolah menjadi bentuk densified (padat), diproses dengan teknologi densifikasi seperti pelletisasi atau briketisasi.

Klasifikasi ini berdasarkan pada ukuran partikel dan bentuk fisik RDF, serta tingkat pengolahan yang dilakukan.

Tabel 3. 2 Klasifikasi RDF yang Ditentukan Berdasarkan ASTM

Sumber: Lusi, 2023

ASTM	Description
Classification	
RDF 1	<i>MSW used as RDF in as discarded form</i>
RDF 2	<i>MSW processed to a coarse particle size with or without ferrous metal separation</i>
RDF 3	<i>MSW processed to a particle size such that 95% by weight passes through a 50mm square mesh screen and from which most of the glass, metals and other organics have been removed.</i>
RDF4	<i>MSW processed to a powdered form 95% by weight of which passes through 10 mesh screen and from which most metals, glass and other organics have been removed</i>

ASTM	Description
Classification	
RDF 5	<i>MSW that has been processed and densified (compressed) into the form of pellets, slugs, cubettes or briquettes</i>
RDF 6	<i>MSW that is processed into a liquid fuel</i>
RDF 7	<i>MSW that has been processed into gaseous fuel</i>

RDF dapat diproduksi dalam bentuk bahan lepas (fluff) atau pelet, tergantung pada kebutuhan pengguna dan faktor lainnya. ASTM menyediakan standar metode uji untuk RDF, termasuk:

- Abu
- Klorin
- Kadar sulfur

Tabel 3. 3 Metode Uji Sampel RDF Menurut Standar ASTM

Metoda Uji	ASTM
<i>Test Method for Collecting Gross Samples Derived Fuel (RDF)</i>	ASTM D5115 - 90(1996) Standard
<i>Standard Practice for Preparing RDF Laboratory Samples for Analysis</i>	ASTM E829 – 16
<i>Test Method for Thermal Characteristics of Refuse-Derived Fuel Macro samples</i>	ASTM E955-88(2009)e1 Standard
<i>Test Method for Residual Moisture in Refuse-Derived Fuel Analysis Samples</i>	ASTM E790-15 Standard

Metoda Uji	ASTM
<i>Test Method for Determination of Forms of Chlorine in Refuse-Derived Fuel</i>	ASTM E776-16 Standard
<i>Test Methods for Total Sulfur in the Analysis Sample of Refuse-Derived Fuel</i>	ASTM E775-15 Standard

Sumber: (Widowati, 2023)

BAB IV

(TOPIK KAJIAN 2) ASPEK OPERASIONAL RDF

4.1 Kriteria sampah menjadi RDF

Indonesia merupakan salah satu penghasil sampah kota terbesar di kawasan ASEAN. Pengolahan sampah yang tidak tepat mengakibatkan penyebaran polutan di udara dan air, serta kontaminasi tanah, yang menyoroti perlunya pengumpulan sampah secara selektif sebagai alternatif utama untuk proses pengelolaan sampah tradisional.

Pilihan lain untuk mengelola sampah adalah dengan memanfaatkan bahan bakar yang berasal dari sampah (refuse-derived fuel/RDF), yang merupakan fraksi bahan bakar yang diperoleh dari berbagai sumber sampah padat yang tidak berbahaya, termasuk bahan organik yang terkandung dalam Sampah Perkotaan / Municipal Solid Waste (MSW), berbagai jenis plastik, sampah yang dapat terurai secara biologis, dan sejumlah besar bahan anorganik seperti logam dan kaca. Untuk menstandarisasi informasi tentang timbulan dan pengelolaan MSW di Indonesia, ada kebutuhan untuk menetapkan standar untuk limbah padat, di mana RDF akan diklasifikasikan sebagai limbah yang mudah terbakar.

Komposisi dan Karakteristik Sampah Perkotaan (MSW).

a. Komposisi Sampah Perkotaan (MSW) untuk bahan RDF

Komposisi MSW tergantung pada faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, kegiatan ekonomi, praktik budaya, dan infrastruktur pengelolaan sampah. Secara umum, MSW dapat dikategorikan ke dalam beberapa komponen utama:

- Sampah Organik: Sampah organik meliputi sisa makanan, sampah pekarangan, dan bahan yang dapat terurai secara alami. Sampah organik dapat mencapai porsi yang signifikan dari

MSW dan memiliki potensi untuk dikomposkan atau diubah menjadi energi melalui pencernaan anaerobik.

- Kertas dan Karton: Kategori ini mencakup berbagai produk kertas seperti koran, majalah, kotak kardus, dan bahan kemasan. Mendaur ulang kertas dan kardus membantu mengurangi permintaan akan bahan baru.
- Plastik: Plastik tersedia dalam berbagai bentuk, termasuk botol, wadah, tas, dan bahan kemasan. Tingkat daur ulang untuk plastik sangat bervariasi karena adanya tantangan terkait pemilihan dan pemrosesan berbagai jenis plastik.
- Logam: Logam seperti aluminium, baja, dan kaleng sering kali termasuk dalam MSW. Bahan-bahan ini sangat mudah didaur ulang dan dapat diolah kembali menjadi produk baru dengan energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan bahan baru.
- Kaca: Wadah kaca dari minuman dan produk makanan berkontribusi terhadap fraksi limbah kaca. Kaca juga dapat didaur ulang dan digunakan kembali dalam berbagai aplikasi.
- Tekstil: Pakaian, kain, dan barang-barang tekstil lainnya merupakan bagian dari MSW. Meskipun beberapa tekstil dapat disumbangkan atau digunakan kembali, sebagian besar lainnya berakhir sebagai limbah.

Komposisi MSW secara signifikan mempengaruhi potensi produksi bahan bakar turunan sampah (RDF). Plastik dan kertas kering sangat ideal untuk RDF karena memiliki nilai kalor yang tinggi, yang berarti menghasilkan banyak panas saat dibakar. Di sisi lain, bahan organik sering kali memiliki kadar air yang tinggi, yang dapat menurunkan nilai kalori RDF. Oleh karena itu, bahan ini sering dipisahkan dari sampah lainnya selama proses produksi RDF. Namun, bahan organik

dapat diproses secara terpisah menjadi kompos atau bahan bakar nabati.

Logam dan kaca biasanya dibuang selama produksi RDF karena tidak terbakar dan dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan. Ini dapat didaur ulang secara terpisah. Bahan-bahan lain seperti tekstil dan karet dapat dimasukkan ke dalam RDF tergantung pada nilai kalorinya dan persyaratan spesifik dari pabrik RDF.

Proporsi masing-masing kategori sampah yang berbeda di Indonesia mengikuti urutan dengan persentase rata-rata sebagai berikut: 27,50% untuk sampah makanan, 20,42% untuk sampah campuran, 19,41% untuk sampah plastik, 14,54% untuk sampah kertas, 9,25% untuk sampah kayu, 4,90% untuk sampah tekstil, dan 3,98% untuk sampah yang tidak mudah terbakar. Yang perlu dicatat, pengaruh perubahan musim terhadap komposisi MSW di Indonesia sangat kecil. Kadar air dari setiap jenis sampah melebihi 30%, dan nilai kalor yang lebih rendah dari keseluruhan sampah kota, yang dihitung berdasarkan basis basah, adalah 8,6 MJ/kg. Nilai ini jauh melampaui ambang batas yang direkomendasikan oleh Bank Dunia sebesar 6 MJ/kg untuk pemanfaatan yang efektif dalam proses konversi termokimia. Temuan ini menunjukkan potensi besar dalam sampah kota di Indonesia untuk mengubah sampah menjadi energi terbarukan atau energi berharga lainnya. produk. (Li, Xiaodong, Studi eksperimental tentang karakteristik limbah padat perkotaan (MSW) di beberapa kota di Indonesia 10.18282/pef.v8i1.716 - Kemajuan Energi & Bahan Bakar (2020)). Dengan menyesuaikan komposisi MSW, kualitas RDF dapat dioptimalkan lebih lanjut untuk penggunaan tertentu, seperti pembakaran di kiln semen.

b. Karakteristik RDF dan Dalam Konteks Apa RDF Dapat Digunakan

Ada beberapa jenis RDF yang dapat diproduksi dari sampah kota (MSW) dan jenis sampah lainnya. RDF tingkat rendah biasanya diproduksi melalui penyortiran mekanis. RDF ini memiliki kandungan energi yang relatif rendah, biasanya antara 10-18 MJ/kg, dan kandungan abu yang tinggi.

RDF kadar rendah dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam kiln semen. RDF tingkat menengah diproduksi melalui teknologi pemrosesan yang lebih canggih seperti gasifikasi dan pirolisis. RDF ini memiliki kandungan energi yang lebih tinggi, biasanya antara 18-25 MJ/kg, dan kandungan abu yang lebih rendah daripada RDF tingkat rendah. RDF tingkat menengah dapat digunakan sebagai bahan bakar di pembangkit listrik dan fasilitas pemulihan energi lainnya. RDF bermutu tinggi diproduksi melalui teknologi pemrosesan canggih seperti gasifikasi busur plasma. RDF memiliki kandungan energi yang sangat tinggi, biasanya antara 25-35 MJ/kg, dan kandungan abu yang sangat rendah. RDF bermutu tinggi dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembangkit listrik efisiensi tinggi dan fasilitas pemulihan energi canggih lainnya.

4.2 Jenis Teknologi Pemrosesan RDF

Pemilihan teknologi pemrosesan RDF merupakan fungsi dari faktor-faktor seperti jenis dan jumlah bahan limbah, penggunaan akhir RDF yang diinginkan, dan lingkungan peraturan di Indonesia. Ada beberapa teknologi pemrosesan yang dapat digunakan untuk mengubah MSW menjadi RDF:

Pemilahan mekanis: Proses ini melibatkan penggunaan peralatan mekanis seperti saringan, mesin penghancur, dan pengklasifikasi udara untuk menyortir dan memisahkan berbagai jenis bahan limbah. RDF yang dihasilkan biasanya digunakan untuk pemulihan energi di fasilitas pengolahan sampah menjadi energi.

- a. Pelletisasi: Ini melibatkan pengompresan RDF menjadi pelet untuk digunakan sebagai bahan bakar di berbagai industri. Selain itu, ada proses termal lanjutan yang menggunakan MSW atau RDF sebagai bahan bakar untuk menghasilkan produk yang lebih maju daripada RDF, yaitu syngas, minyak, char, dan lainnya.
- b. Gasifikasi busur plasma: Ini adalah teknologi konversi termal canggih yang menggunakan plasma bersuhu tinggi untuk mengurai bahan limbah menjadi elemen-elemen penyusunnya.
- c. Pirolisis: Ini adalah proses termal yang melibatkan pemanasan bahan limbah tanpa adanya oksigen untuk menghasilkan gas dan residu padat.
- d. Gasifikasi: Proses ini melibatkan pemanasan bahan limbah di hadapan oksigen dalam jumlah terbatas untuk menghasilkan gas yang dapat digunakan untuk pemulihan energi.

4.3 Teknologi Produksi RDF

Peraturan nasional diperlukan untuk menetapkan standar kualitas yang tinggi untuk RDF, sehingga RDF dapat dengan mudah diterima sebagai bahan bakar pengganti atau bahan bakar tambahan di sebagian besar sistem pembakaran dengan modifikasi. Namun, produksi RDF dengan nilai kalori tinggi membutuhkan jalur produksi yang kompleks yang mengarah pada efisiensi massa yang rendah, yang dimaksudkan sebagai rasio massa RDF yang dihasilkan terhadap massa sampah yang tidak diolah. Dengan LHV yang lebih tinggi, maka akan ada lebih banyak langkah pemisahan dan massa RDF yang dihasilkan akan lebih rendah, dengan jumlah MSW yang sama. Hal ini menyebabkan tingginya biaya produksi yang mengurangi daya tarik pasar produk. Ban bekas juga dapat dicampur ke dalam MSW untuk mencapai nilai LHV yang ditentukan, tetapi hal ini dapat menimbulkan biaya tambahan.

Kebijakan yang berlaku di Indonesia saat ini sangat menganjurkan untuk mengurangi pembuangan sampah di TPA dan beralih ke pengumpulan sampah secara terpisah serta pemanfaatan sampah secara termal, termasuk produksi RDF. Komite Eropa untuk Standardisasi (CEN): CEN telah mengembangkan serangkaian standar untuk RDF di bawah seri EN 15359. Standar-standar ini mendefinisikan spesifikasi RDF dalam hal sifat fisik dan kimianya, serta kinerja lingkungannya.

Asosiasi Limbah Padat Internasional (ISWA): ISWA menyediakan panduan dan praktik terbaik untuk produksi dan pemanfaatan RDF. Meskipun ISWA tidak menetapkan standar resmi, ISWA menawarkan laporan teknis dan informasi tentang kualitas RDF dan berbagai aplikasinya.

Beberapa negara yang telah menetapkan panduan dan standar terkait RDF adalah:

- Britania Raya (Inggris): Badan Lingkungan Hidup Inggris telah menetapkan dokumen panduan dan standar untuk produksi dan kualitas RDF. Panduan ini menguraikan persyaratan untuk fasilitas produksi RDF, prosedur pengambilan sampel, dan kriteria kualitas.
- Jepang Kementerian Lingkungan Hidup Jepang telah menetapkan standar kualitas untuk bahan bakar yang berasal dari sampah, termasuk RDF, di bawah Undang-Undang Pengelolaan Sampah dan Pembersihan Publik. Standar ini mencakup spesifikasi untuk berbagai sifat RDF, seperti kadar air, nilai kalori, dan konsentrasi logam berat.
- Amerika Serikat (AS): Meskipun AS tidak memiliki standar nasional untuk RDF, beberapa negara bagian telah membuat panduannya sendiri. Sebagai contoh, Departemen Daur Ulang dan Pemulihian Sumber Daya California (CalRecycle) telah memberikan rekomendasi untuk bahan sampul harian alternatif, yang dapat mencakup RDF.
- Jerman: Peraturan pengelolaan limbah Jerman mencakup standar kualitas untuk RDF, yang menetapkan parameter seperti nilai kalori, kadar air, dan batas logam berat.
- Singapura: Badan Lingkungan Hidup Nasional Singapura (NEA) telah menetapkan pedoman untuk fasilitas pengolahan sampah menjadi energi, termasuk yang menggunakan RDF. Pedoman ini menguraikan persyaratan untuk emisi, pemulihan energi, dan kualitas limbah.

- Belanda: Organisasi Belanda NEN telah mengembangkan standar untuk bahan bakar yang dipulihkan secara padat, termasuk RDF, di bawah seri NEN 5905. Standar ini mencakup spesifikasi, metode pengujian, dan parameter kualitas

4.4 Nilai Kalor MSW Di Indonesia

Salah satu masalah utama dalam pengelolaan Municipal Solid waste (MSW) adalah rendahnya kandungan energi dari sampah, yang telah membatasi pengembangan proyek pemulihan energi. Komposisi pembuang sampah di Indonesia didominasi oleh sampah organik. Nilai kalori dari campuran MSW di Indonesia relatif rendah, dengan nilai rata-rata sekitar 1.000 kkal/kg. Hal ini disebabkan oleh tingginya proporsi sampah organik dalam aliran sampah, yang memiliki kandungan energi yang rendah dibandingkan dengan bahan lain seperti plastik dan kertas. Selain itu, kadar air yang tinggi pada sampah juga mengurangi kandungan energinya dan membuatnya lebih sulit untuk dipulihkan. Meskipun kandungan energi MSW di Indonesia rendah, masih ada potensi untuk pemulihan energi dari sampah ini.

Salah satu pendekatan untuk pemulihan energi adalah penggunaan bahan bakar turunan sampah (refuse-derived fuels/RDF), yang berasal dari MSW dan memiliki kandungan energi yang lebih tinggi daripada sampah aslinya. RDF biasanya diproduksi dengan memproses MSW untuk menghilangkan material yang tidak mudah terbakar seperti logam dan kaca, dan kemudian mencacah material yang tersisa untuk menghasilkan bahan bakar yang homogen. Kadar air yang tinggi dari MSW di Indonesia merupakan penghalang yang signifikan untuk pemulihan energi, karena hal ini mengurangi kandungan energi dari limbah dan membuatnya lebih sulit untuk diproses. Namun, ada beberapa teknologi yang tersedia untuk mengatasi hambatan ini.

Salah satu pendekatannya adalah dengan mengeringkan sampah sebelum memprosesnya, yang secara signifikan dapat meningkatkan kandungan energinya. Pendekatan lainnya adalah dengan menggunakan pencernaan anaerobik untuk menghasilkan biogas dari fraksi organik sampah, yang dapat digunakan untuk menghasilkan listrik atau panas. Selain rendahnya kandungan energi MSW di TPA, tantangan lainnya adalah tingginya tingkat kontaminasi dalam aliran sampah. Untuk mengatasi tantangan kontaminasi pada MSW, ada kebutuhan akan praktik pemilahan dan pengelolaan sampah yang lebih baik. Hal ini dapat mencakup implementasi program pemisahan sampah di sumbernya, serta pengembangan fasilitas daur ulang dan pengelolaan limbah B3. Selain itu, ada kebutuhan untuk meningkatkan kesadaran dan pendidikan di kalangan masyarakat tentang pentingnya pengelolaan limbah dan dampak limbah terhadap lingkungan.

Penggunaan RDF dapat meningkatkan kandungan energi limbah dan menyediakan sumber energi yang berharga. Namun, kadar air yang tinggi dan kontaminasi aliran limbah menimbulkan tantangan yang signifikan terhadap pemulihan energi. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan pengembangan teknologi baru, yang mengarah pada pengembangan metode pengolahan mekanis dan biologis (MBT) untuk mengurangi zat-zat berbahaya dan menciptakan RDF berkualitas tinggi. Kebutuhan akan standar kualitas untuk RDF telah mengarah pada pengembangan kelas-kelas kualitas RDF, seperti SRF di Eropa. Indonesia saat ini belum memiliki standar nasional untuk kualitas RDF, tetapi sedang berupaya untuk membuatnya

BAB V

RDF SEBAGAI SOLUSI PENANGANAN SAMPAH DI INDONESIA

5.1 RDF sebagai Sumber Energi Alternatif

Populasi Indonesia yang besar dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, menghadapi tantangan serius terkait pengelolaan sampah menjadi bahan bakar seperti RDF. Setiap tahun, sekitar 7 juta ton sampah plastik dihasilkan oleh masyarakat Indonesia. Volume ini mencakup berbagai jenis sampah, termasuk plastik sekali pakai, kertas, dan bahan organik. Dampaknya sangat signifikan, baik pada lingkungan maupun kesehatan manusia. Sampah plastik yang tidak terkelola dengan baik berakhir di lautan, mengancam keberagaman hayati dan menghasilkan polusi mikroplastik yang merusak ekosistem laut. Selain itu, pembakaran sampah tradisional juga menghasilkan emisi berbahaya yang merusak kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, penanganan volume sampah yang tinggi menjadi urgensi yang harus segera diatasi melalui pendekatan berkelanjutan dan kolaboratif. Selain itu, pembakaran sampah tradisional juga menghasilkan emisi berbahaya yang merusak kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, penanganan volume sampah yang tinggi menjadi urgensi yang harus segera diatasi melalui pendekatan berkelanjutan dan kolaboratif.

Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penerapan teknologi dan inovasi dalam pengelolaan sampah di Indonesia. Melalui pendekatan ini, Refuse Derived Fuel (RDF) menjadi salah satu metode yang dapat mengubah sampah menjadi sumber energi alternatif. Teknologi RDF tidak hanya membantu mengurangi volume sampah yang harus dibuang, tetapi juga mengurangi emisi berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran

sampah tradisional. Dengan demikian, penerapan RDF dapat menjadi langkah penting dalam menciptakan lingkungan yang lebih bersih dan sehat, sekaligus mendukung upaya pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan.

Teknologi dan inovasi dalam pengelolaan sampah di Indonesia, khususnya melalui penerapan Refuse Derived Fuel (RDF), telah menunjukkan potensi besar dalam mengatasi masalah sampah dan memenuhi kebutuhan energi. RDF merupakan bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari sampah padat perkotaan, yang dapat digunakan sebagai pengganti batubara dalam pembangkit listrik dan industri semen. Di Indonesia, RDF telah digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan kiln semen, dengan standar operasional yang diatur oleh SNI 8966:2021. Implementasi RDF di Indonesia telah membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, sejalan dengan target pengurangan emisi yang ditetapkan dalam Nationally Determined Contributions (NDC) Indonesia.

5.2 Potensi Pasar RDF Di Indonesia

Potensi pasar RDF di Indonesia sangat besar, mengingat jumlah sampah yang dihasilkan setiap hari. Dengan populasi yang terus bertambah dan urbanisasi yang meningkat, kebutuhan akan solusi pengelolaan sampah yang efektif menjadi semakin mendesak. RDF menawarkan solusi yang tidak hanya mengurangi volume sampah, tetapi juga menyediakan sumber energi alternatif yang dapat diandalkan.

Pasar RDF dapat berkembang pesat dengan adanya kebijakan pemerintah yang mendukung, insentif bagi industri yang mengadopsi teknologi ini, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya pengelolaan sampah yang berkelanjutan. Selain itu, peluang ekspor RDF ke negara-negara yang membutuhkan bahan bakar alternatif juga dapat menjadi

sumber pendapatan baru bagi Indonesia. Untuk memastikan keberhasilan implementasi RDF secara luas, pemetaan supply and demand menjadi langkah penting. Pemetaan ini melibatkan identifikasi sumbersumber sampah yang dapat diolah menjadi RDF, serta industri-industri yang berpotensi menggunakan RDF sebagai bahan bakar.

Pemerintah dan pihak swasta perlu bekerja sama dalam mengembangkan infrastruktur yang mendukung pengumpulan, pengolahan, dan distribusi RDF. Selain itu, perlu ada mekanisme monitoring dan evaluasi untuk memastikan bahwa supply RDF dapat memenuhi demand yang ada. Dengan pemetaan yang tepat, diharapkan RDF dapat menjadi solusi yang efektif dalam mengatasi masalah sampah sekaligus memenuhi kebutuhan energi industri di Indonesia. Fasilitas pengolahan sampah ini menginisiasi penggunaan teknologi RDF di Indonesia dan disebut sebagai tonggak baru pengelolaan sampah di tanah air. Refuse Derived Fuel sering disingkat dengan RDF merupakan hasil pengolahan sampah yang dikeringkan untuk menurunkan kadar air hingga <25% dan menaikkan nilai kalornya setelah sebelumnya dicacah terlebih dahulu untuk menyeragamkan ukurannya menjadi 2-10 cm. Karenanya RDF ini sering disebut sebagai keripik sampah.

5.3 Potensi Sektor Ekonomi Sebagai Pengambil Manfaat RDF

Untuk memperkirakan potensi setiap sektor ekonomi sebagai off-taker Refuse Derived Fuels (RDF), faktor-faktor seperti konsumsi energi, proses produksi, peraturan lingkungan hidup, dan potensi substitusi RDF harus diperhitungkan Industri semen: Potensi tinggi - Industri semen memiliki potensi tinggi untuk pemanfaatan RDF karena proses produksinya yang intensif energi dan kemampuan untuk menggunakan RDF sebagai sumber bahan bakar tambahan atau alternatif. Banyak pabrik semen telah mengadopsi RDF untuk menggantikan bahan bakar tradisional seperti batu

bara dan gas alam, sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca dan menurunkan biaya bahan bakar.

- Industri Pulp dan Kertas: Potensi sedang hingga tinggi - Industri pulp dan kertas memiliki potensi sedang hingga tinggi untuk pemanfaatan RDF karena kebutuhan energinya yang signifikan untuk berbagai proses. RDF dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar untuk menggantikan atau melengkapi bahan bakar tradisional seperti batu bara, minyak, atau gas alam. Sektor ini dianggap sebagai pemasok bahan baku yang potensial.
- Industri baja: Potensi moderat - Industri baja memiliki potensi moderat untuk pemanfaatan RDF, khususnya dalam tanur tiup. Namun, penggunaan RDF secara keseluruhan dalam produksi baja relatif terbatas dibandingkan dengan bahan bakar lainnya, dan permintaan energi dari sektor ini mungkin tidak dapat sepenuhnya dipenuhi oleh RDF saja.
- Pengecoran logam: Potensi moderat - Industri pengecoran logam memiliki potensi moderat untuk pemanfaatan RDF, karena suhu tinggi yang digunakan dalam proses pengecoran dapat mengakomodasi penggunaan bahan bakar alternatif seperti RDF. Potensi penggunaan RDF di sektor ini akan bergantung pada skala produksi, kebutuhan energi, dan kesediaan industri untuk mengadopsi bahan bakar alternatif. Manfaat lingkungan dan penghematan biaya dari penggunaan RDF dapat mendorong pengadopsiannya di sektor ini.
- Sektor tekstil: Potensi rendah hingga sedang - Sektor tekstil memiliki potensi rendah hingga sedang untuk pemanfaatan RDF, karena permintaan energi di sektor ini biasanya lebih rendah dibandingkan dengan industri berat lainnya. Namun, penggunaan RDF dalam produksi tekstil masih dapat berkontribusi terhadap kelestarian

lingkungan dan pengelolaan limbah. Faktor-faktor seperti skala produksi tekstil, kebijakan pengelolaan limbah lokal, dan ketersediaan RDF akan mempengaruhi potensi penggunaan RDF di sektor ini. Sektor ini dianggap sebagai pemasok bahan baku yang potensial.

5.4 Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif RDF Pada Industri Semen

Proses pembuatan semen secara umum dapat terdiri dari 5 (lima) tahapan proses, yaitu meliputi : tahap penyiapan bahan baku, tahap pengolahan bahan, tahap pembakaran, tahap penggilingan akhir, dan tahap pengemasan (*packing*).

1. Tahap pertama di dalam produksi semen adalah tahap penyiapan bahan baku, yaitu: batu kapur CaCO_3 (limestone), tanah liat (clay) $2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (kaolinite), pasir besi (Fe_2O_3) atau Copper Slag ($\text{Fe} \cdot \text{SiO}_3$, Ca_2Fe , CuO), dan pasir silika (SiO_2). Bahan baku utama semen yang berupa batu kapur dan tanah liat akan dihancurkan untuk memperkecil ukuran agar mudah dalam proses penggilingan. Setelah itu bahan baku akan mengalami proses pre- homogenisasi. Tujuan prehomogenisasi material adalah untuk memperoleh bahan baku yang lebih homogen.
2. Tahap kedua adalah pengolahan bahan yaitu proses penggilingan dan pengeringan bahan baku. Media pengeringnya adalah udara panas yang berasal dari siklon-preheater. Udara panas tersebut juga berfungsi sebagai media pembawa bahan-bahan yang telah halus menuju alat proses selanjutnya. Material yang sudah tergiling halus akan terbawa udara panas keluar raw mill melalui bagian atas alat tersebut. Kemudian material akan mengalami proses pencampuran (*blending*) dan homogenisasi di dalam Blending Silo.

3. Tahap ketiga adalah proses pembakaran. Pembakaran dimulai melalui proses pemanasan awal (*pre-heating*) yaitu bahan baku dimasukkan kedalam suspension pre-heater. Material akan masuk terlebih dahulu pada cyclone yang paling atas hingga keluar dari cyclone terakhir. Setelah itu, material akan masuk kedalam rotarykiln. Rotarykiln adalah alat berbentuk silinder memanjang horizontal yang diletakkan dengan kemiringan tertentu. Dari ujung tempat material masuk (inlet), sedangkan di ujung lain adalah tempat terjadinya pembakaran bahan bakar (*burning zone*). Jadi material akan mengalami pembakaran dari temperatur yang rendah menuju ke temperature yang lebih tinggi. Bahan bakar semen yang digunakan adalah batu bara, sedangkan untuk pemanasan awal digunakan Industrial Diesel Oil (IDO) ataupun bahan bakar minyak sejenis. Daerah proses yang terjadi di dalam kiln dapat dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

- a. Daerah transisi (*transition zone*)
- b. Daerah pembakaran (*burning zone*)
- c. Daerah pelelehan (*sintering zone*)
- d. Daerah pendinginan (*cooling zone*)

Di dalam kiln terjadi proses kalsinasi (hingga 100%), sintering, dan clinkering. Temperatur material yang masuk kedalam tanur putar adalah 800-900°C, sedangkan temperatur clinker yang keluar dari tanur putar adalah 1100-1200°C. Setelah proses pembentukan clinker selesai dilakukan di dalam tanur putar, clinker tersebut didinginkan di dalam cooler sebelum disimpan di dalam clinke rsilo. Selanjutnya clinker dikirim menuju tempat penampungan clinker (clinker silo) dengan menggunakan alat transportasi yaitu pan conveyor.

4. Tahap keempat adalah proses penggilingan akhir, dimana terjadi pencampuran clinker dengan gipsum dan material lainnya. Material yang telah mengalami penggilingan kemudian dipisahkan di separator. Semen yang halus akan dibawa udara melalui cyclone, kemudian ditangkap oleh bag filter yang kemudian akan ditransfer ke dalam cement silo. Sedangkan semen yang keluar dari bawah cyclone akan dimasukkan kembali ke dalam mill untuk digiling kembali.
5. Tahap kelima adalah proses pengemasan (*packing*). Silo semen tempat penyimpanan produk dilengkapi dengan system aerasi untuk menghindari penggumpalan/koagulasi semen yang dapat disebabkan oleh air dari luar, dan pelindung dari udara ambient yang memiliki humiditas tinggi. Setelah itu semen dari silo dikeluarkan dengan menggunakan udara bertekanan (*discharge*) dari silo semen lalu dibawa ke bin penampungan sementara sebelum masuk ke mesin packer atau loading ketruk. Kapasitas dan jenis kantong semen yang digunakan tergantung kebutuhan dan permintaan pasar.

5.5 Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif RDF Pada Industri Non Semen

Refuse Derived Fuels (RDF) dapat digunakan sebagai sumber energi di berbagai sektor ekonomi sebagai sarana untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil dan mengelola sampah. Sejauh ini, jumlah *off taker* atau pembeli RDF di Indonesia masih terbatas, yaitu industri semen dan beberapa pembangkit listrik tenaga batu bara (industri ini memiliki peraturan RDF sendiri yang melarang penggunaan sampah kota sebagai sumber bahan baku, sehingga tidak termasuk dalam analisis).

Sektor-sektor industri *off-taking* yang potensial di Indonesia untuk berbagai jenis Refuse-derived fuels (RDF) akan bergantung pada karakteristik RDF dan permintaan energi dan bahan bakar lokal,

lingkungan peraturan, dan harga energi dan bahan bakar. Selain itu, sektor-sektor spesifik dari industri *off-taking* dapat bervariasi tergantung pada karakteristik RDF dan permintaan energi dan bahan bakar lokal.

- Industri semen: Proses produksi semen membutuhkan energi dalam jumlah yang signifikan, dan banyak kiln semen menggunakan RDF sebagai sumber bahan bakar tambahan atau alternatif. RDF dapat menggantikan bahan bakar tradisional seperti batu bara, atau gas alam, sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca dan menurunkan biaya bahan bakar.
- Industri pupuk: RDF dapat menggantikan bahan bakar tradisional dalam proses produksi.
- Industri baja: Proses pembuatan baja, khususnya di tanur tinggi, dapat menggunakan RDF sebagai bahan bakar tambahan. Suhu tinggi dalam tungku ini dapat mengurai RDF, mengurangi volume limbah dan menghasilkan energi.
- Sektor tekstil: RDF yang digunakan di sektor tekstil harus memiliki nilai kalor yang konsisten dan sesuai untuk menghasilkan panas yang efisien untuk proses industri, seperti pengeringan, pewarnaan, dan finishing. Industri tekstil dianggap sebagai industri dengan Potensi sedang. Feeding system di Industri tekstil yang menggunakan system stokies sangat compatible untuk dibaurkan dengan RDF.
- Pengecoran logam: Potensi sedang - RDF yang digunakan dalam pengecoran logam harus memiliki nilai kalor yang tinggi untuk menghasilkan panas yang kuat yang diperlukan untuk melelehkan logam dan paduan.

- Industri pulp dan kertas : menggunakan RDF sebagai sumber energi untuk menggantikan bahan bakar tradisional. Hal ini dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan mengelola limbah. Namun, industri pulp dan kertas dapat menjadi pemasok bahan baku RDF dari bagian yang tidak dapat didaur ulang.

5.6 Menghubungkan Industri Pengambilalihan RDF Dengan Jenis RDF

Sektor-sektor potensial dari industri off-taking untuk setiap jenis RDF: RDF bermutu rendah: Industri semen: RDF kadar rendah dapat digunakan sebagai bahan bakar di kiln semen, yang membutuhkan suhu tinggi untuk menghasilkan klinker semen. Industri semen sudah menjadi konsumen utama RDF di Indonesia. Beberapa produsen semen terbesar di Indonesia, seperti PT Holcim Indonesia Tbk dan PT Semen Indonesia Tbk, menggunakan RDF sebagai bahan bakar di kiln mereka untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

- RDF kelas menengah: RDF tingkat menengah dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pemanasan proses industri, seperti dalam produksi semen, baja, dan pengolahan. Namun, penggunaan RDF untuk tujuan ini sejauh ini masih relatif terbatas di Indonesia.
- RDF bermutu tinggi: Pemanasan proses industri: RDF bermutu tinggi dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pemanasan proses industri, seperti dalam produksi semen, baja, dan bahan lainnya. Bahan bakar transportasi: RDF bermutu tinggi dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair atau gas untuk digunakan sebagai bahan bakar transportasi.

Meskipun saat ini belum ada produksi bahan bakar transportasi yang signifikan dari RDF di Indonesia, terdapat potensi untuk pengembangan sektor ini di masa depan, dan tidak dipertimbangkan dalam analisis ini.

Dari segi lokasi, industri off-taking yang potensial untuk RDF tersebar di seluruh Indonesia, dengan beberapa konsentrasi di daerah-daerah yang memiliki kepadatan penduduk dan aktivitas industri yang tinggi. Sebagai contoh, Jakarta dan provinsi Banten dan Jawa Barat di sekitarnya merupakan rumah bagi beberapa pengambil RDF yang besar, termasuk pabrik WTE Bantargebang dan beberapa produsen semen. Demikian pula, Jawa Timur memiliki sejumlah industri semen besar yang berpotensi menggunakan RDF sebagai bahan bakar.

5.7 Modifikasi Teknologi RDF Disarankan Untuk Sektor-Sektor Utama Pengambilan Besar

Penggunaan *Refuse Derived Fuels* (RDF) di berbagai sektor ekonomi mungkin memerlukan modifikasi atau peningkatan pada peralatan yang ada untuk memastikan pembakaran yang efisien, pengendalian emisi, dan keamanan.

a. Industri semen:

- Meningkatkan sistem pengumpanan bahan bakar untuk menangani RDF.
- Memasang fasilitas penyimpanan dan penanganan baru untuk RDF
- Memodifikasi sistem pembakaran, seperti mengadaptasi pembakar atau menyesuaikan pasokan udara
- Memperbarui sistem kontrol emisi, seperti presipitator elektrostatik, bag filter, atau scrubber.

b. Industri pupuk:

- Sistem pembakaran akan membutuhkan modifikasi untuk mengakomodasi penggunaan RDF (pembakar dan ruang pembakaran untuk memastikan pembangkitan energi yang efisien).
- Sistem Pengumpunan untuk mengontrol pemasukan RDF, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti ukuran partikel dan kadar air.
- Infrastruktur penyimpanan dan penanganan untuk RDF perlu dipasang. Industri baja:
 - Mengadaptasi sistem pengumpunan bahan bakar untuk RDF.
 - Menginstal fasilitas penyimpanan dan penanganan RDF.
 - Memodifikasi sistem pembakaran, seperti menyesuaikan pembakar dan suplai udara.
- Meningkatkan sistem kontrol emisi, jika perlu. Pengecoran logam:
 - Mengadaptasi sistem pengumpunan bahan bakar untuk RDF.
 - Menginstal fasilitas penyimpanan dan penanganan RDF.
 - Memodifikasi sistem pembakaran, seperti menyesuaikan pembakar, pasokan udara, atau desain tungku untuk mengakomodasi RDF.
- Meningkatkan sistem kontrol emisi, jika perlu, untuk menangani potensi perubahan komposisi gas buang.

BAB VI

SAMPAH HARI INI DAN ENERGI ESOK HARI

Ulasan pada bab sebelumnya memberi pemahaman perihal sampah, kondisi dan tantangannya di Indonesia, potensi, teknologi serta pedoman teknis pengolahan sampah menjadi RDF. Hal-hal berikut adalah catatan yang perlu menjadi pertimbangan terkait RDF, yaitu:

1. Untuk sampah yang dapat di proses menjadi RDF adalah sampah domestik perkotaan baik sampah organik maupun sampah non organik, sampah tersebut terbagi menjadi dua, yaitu: sampah mudah terbakar (*combustiblewaste*) dan sampah tidak mudah terbakar (non-combustiblewaste), kecuali sampah B3 sampah logam dan kaca, kerikil dan batu. Sampah dicacah dengan diameter kisaran 5-10 cm, dikeringkan sampai dengan kadar air tinggal 25% dengan kalor minimal 2500 Kcal.
2. Untuk membangun pengolahan sampah berbasis RDF di kabupaten/kota harus terdapat off taker yang akan memanfaatkan RDF tersebut dengan jarak maksimal 35 km, (terkait dengan nilai keekonomian) dan menurut kajian finansial yang layak dan memenuhi nilai keekonomian apabila kapasitas sampah perkotaan (MSW) minimal sebesar 800 ton per hari. Jadi apabila jumlah timbulan sampah kota < 700 ton per hari nilai keekonomian tidak masuk, (BEP tidak memenuhi) sehingga investor tidak berminat. Kecuali kota Cilacap timbulan sampah 160 ton per hari ini karena pilot project dan pihak pff taker bersedia Kerjasama pengelolaan dengan waktu tertentu.
3. *Off taker* yang sudah bisa memanfaatkan RDF dari sampah untuk sementara ini hanya industry semen, walau sektor industry lainnya yang memanfaatkan batu bara sebagai bahan bakarnya bisa

- memanfaatkan RDF, seperti industry pupuk, industry kertas, industry tekstile dan industry gula, tetapi perlu penelitian lebih lanjut untuk dapat merealisasikan pemanfaatan RDF non industry semen.
4. Terkait investor yang berminat memanfaatkan sampah kota menjadi bahan RDF perlu didukung insentif *Tipping Fee* untuk operasionalnya, dan tidak semua Kabupaten/kota mampu mengalokasikan tipping fee tersebut, sehingga perlu intervensi dari pemerintah pusat untuk mendukung kegiatan tersebut.
 5. RDF adalah salah Solusi pengelolaan sampah di Indonesia, namun demikian investasi Pengelolaan sampah berbasis RDF masih di rasa mahal, oleh karena itu perlu intervensi regulasi pemerintah untuk menarik minat agar para investor baik dari dalam negeri maupun luar negeri dengan memberikan insentif seperti mendapatkan bebas bea masuk atau keringanan pajak/bea masuk peralatan pengolah sampah dan biaya-biaya lain yang masih dianggap memberatkan sehingga nilai investasi dapat diturunkan secara signifikan dan dapat menumbuhkan daya saing di sektor jasa industri.

Dengan harapan-harapan yang diinginkan dalam mewujudkan pengolahan sampah berbasis RDF akan menjadikan tumbuh kembang sektor energi baru terbarukan, sehingga ke depan Indonesia akan terwujud Indonesia Bebas Sampah, lingkungan asri, sehat, ramah lingkungan, dan energi terbarukan sebagai pilar baru perekonomian Indonesia dan harapan Indonesia Emas 2045 akan terwujud....semoga!

DAFTAR PUSTAKA

- Chaerul, M., & Wardhani, A. K. (2020). Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan dengan Proses Biodrying: Review. *Jurnal Presipitasi Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(1), 62–74.
- Guziana, B., Song, H., Thorin, E., Dotzauer, E., & Yan, J. (2012). WASTE-TO-ENERGY IN A POLISH PERSPECTIVE. *ICAE*.
- Kementerian PPN/Bappenas. (2023). *Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF), untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi*.
- Lokahita, B., & Damanhuri, E. (2010). *Potential of Combustible Municipal Solid waste at Transfer Point in Bandung City on a Refused Derived Fuel (RDF) Raw Material*. Institut Teknologi Bandung.
- Republik Indonesia. (2008). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah*. Sekretariat Negara.
- SIPSN. (2022). *Data Capaian Persampahan*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.
- SIPSN. (2024). *Grafik komposisi sampah berdasarkan jenis sampah*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.
- Somsai, K., Tondee, T., & Kerdsuwan, S. (2016). Effect Of Airflow On Moisture Removal Of Rotary Biodrying Reactors. *Jurnal Teknologi*. <https://doi.org/10.11113/Jt.V78.8638>
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1993). *Integrated Solid Waste Management*. Mc Graw-Hill Book Co.
- Velis, C. ., Longhurst, P. ., Drew, G. ., Smith, R., & Pollard, S. J. . (2009). Biodrying for mechanical–biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource*

- Technology*, 100(11), 2747–2761.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.12.026>
- Widowati, L. (2023). Kajian Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF) untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi. *Direktorat Lingkungan Hidup*.
<https://lcdi-indonesia.id/wp-content/uploads/2024/04/Kajian-Analisis-Offtaker-RDF-ERiC-DKTI.pdf>
- World Bank. (2025). *State and Trends of Carbon Pricing 2025*.
Washington, DC: World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2255-1>.

BIOGRAFI PENULIS

Penulis pertama, “Kun Nasython” adalah dosen dan peneliti di Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Bakrie dan telah menyelesaikan pendidikan Doktor (53) Ilmu Lingkungan, Universitas Brawijaya pada tahun 2019, Malang, Jawa Timur. Sebelumnya Penulis menempuh Program Magister (S2) Ilmu Lingkungan Universitas Djendral Soedirman Purwokerto pada tahun 2006 dan Program Sarjana S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Kristen Palangkaraya pada tahun 1998. Penulis juga seorang praktisi berpengalaman di bidang pengelolaan lingkungan dan infrastruktur persampahan lebih dari 30 tahun di sektor publik dan swasta. Memiliki rekam jejak memimpin proyek berskala nasional dan daerah, termasuk perencanaan, studi kelayakan, dan implementasi fasilitas pengolahan sampah menjadi *Refuse-Derived Fuel* (RDF), pengelolaan limbah B3, serta infrastruktur air minum. Penulis telah berpengalaman sebagai Team Leader, Direktur Riset, dan Tenaga Ahli pada berbagai proyek strategis di bawah koordinasi pemerintah daerah, kementerian, dan perusahaan konsultan. Penulis telah menempuh beberapa training seperti *Public Private Partnership* (PPP) Copenhagen, Denmark & Kampala, Uganda (150 jam) tahun 2014; *Spatial Planning and Management Project* Kuala Lumpur, Malaysia (630 jam) tahun 2009; *Preparedness and Disaster Management* Manila, Filipina (525 jam) tahun 2003; Municipal Wastewater Treatment for Metropolitan Cities Boston, USA (84 jam) tahun 1996; *Waterworks Engineering for Water Treatment Facilities* Tokyo & Kitakyushu, Jepang (1050 jam) tahun 1991. Sertifikasi yang dimiliki penulis adalah Ahli Utama Perencanaan Pengelolaan Sampah (Level 9) – BNSP, 04 Des 2024 – 04 Des 2029; Ahli Utama Manajemen Konstruksi (Level 9) – BNSP, 04 Des 2024 – 04 Des 2029 dan Ahli Utama Teknik Lingkungan (Level 9) – BNSP, 04 Des 2024 – 04 Des 2029.

Penulis kedua, “Sirin Fairus” adalah dosen dan peneliti di Program Studi Teknik Lingkungan Universtias Bakrie. Penulis sebelumnya telah menyelesaikan Program S1 di Jurusan Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor pada tahun 1993 dan Program Magister (S2) di Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Bandung pada tahun 1999. Penulis juga menempuh *short course* di Manchester University di tahun 2004 dan 2006. Penulis telah melakukan publikasi riset terkait pengolahan air limbah dan pengelolaan limbah padat, limbah B3 dan persampahan. Penulis dan tim juga telah menerbitkan beberapa buku referensi.

