

Analisis Potensi *Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF)* untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi



2023



Implemented by:



In cooperation with:



Kajian Analisis Potensi *Off-taker Refuse Derived Fuel* (RDF) untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi.

Penulis:

Lusy Widowati, S.T., M.Sc.

Photo cover : Lusy Widowati

Proyek Pengurangan Emisi di Perkotaan melalui Peningkatan Pengelolaan Sampah
/Emissions Reduction in Cities through Improved Waste Management (ERiC-DKTI)

2023

Disclaimer:

Analisis, hasil, dan rekomendasi dalam publikasi ini merupakan pendapat dari para penulis dan tidak mewakili posisi Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH.

KATA PENGANTAR

Pengelolaan sampah saat ini menjadi permasalahan yang perlu menjadi perhatian utama pemangku kepentingan. Pengelolaan sampah yang ditangani secara parsial, tidak terintegrasi dari hulu ke hilir menyebabkan permasalahan sampah tidak selesai sampai ke akarnya. Hal ini juga menyebabkan berbagai potensi penanganan sampah tidak dapat teridentifikasi dan dimanfaatkan dengan baik.

Pemerintah Indonesia telah mendorong komitmen penyelesaian permasalahan sampah dalam Dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) tahun 2020-2024 melalui 2 (dua) agenda pembangunan, yaitu Agenda Pembangunan/Prioritas Nasional 5: Memperkuat Infrastruktur untuk Mendukung Pengembangan Ekonomi dan Pelayanan Dasar, serta Agenda Pembangunan/Prioritas Nasional 6: Membangun Lingkungan Hidup, Meningkatkan Ketahanan Bencana dan Perubahan Iklim. Pemerintah Indonesia juga telah menetapkan target pengelolaan sampah nasional dalam Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 tentang Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Sampah Nasional (JAKSTRANAS), yaitu pada tahun 2025 mencapai pengurangan sampah sebesar 30% dan mencapai penanganan sampah sebesar 70%. Ketimpangan antara kondisi pengelolaan sampah saat ini dengan rencana strategis pemerintah untuk pengelolaan sampah pada tahun 2025, memberikan dorongan urgensi penataan sistem pengelolaan sampah terintegrasi dari hulu ke hilir.

Tidak dapat dipungkiri, peningkatan pengelolaan sampah di hulu dan tahapan antara, terutama melalui pemberdayaan komunitas masyarakat hingga skala rumah tangga perlu didukung dengan penguatan sistem pengelolaan sampah di hilir. Penerapan teknologi hijau menjadi hal yang mutlak untuk diterapkan. Teknologi ini diharapkan dapat secara signifikan mengurangi timbulan sampah yang masuk ke Tempat Pemrosesan Akhir. Teknologi pengolahan sampah dengan metode termal menjadi salah satu alternatif yang dapat dipertimbangkan dan *Refuse Derived Fuel* (RDF) merupakan contoh teknologi yang dapat dikembangkan di Indonesia. Teknologi ini mampu mengolah sampah dalam skala besar, dan menghadirkan manfaat lain berupa penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Di sisi lain, teknologi ini menawarkan substitusi bahan bakar fosil bagi industri.

Dalam rangka mendukung implementasi teknologi RDF di Indonesia, Pemerintah Indonesia dengan dukungan Kerja sama Jerman, dalam Proyek Penurunan Emisi di Perkotaan melalui Peningkatan Pengelolaan Sampah (ERIC DKT1) yang diimplementasikan oleh GIZ, mengembangkan **Kajian Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF) untuk Mendukung Pengembangan Pengolahan Sampah Ramah Iklim yang Terintegrasi**. Kajian ini diharapkan dapat memetakan potensi pemanfaatan RDF melalui identifikasi proses industri pada sub-sektor industri prioritas. Informasi dalam kajian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi Pemerintah Pusat, Pemerintah Daerah, Sektor Industri, maupun pemangku kepentingan lainnya dalam memanfaatkan teknologi RDF.

Jakarta, Februari 2024
Direktorat Lingkungan Hidup

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	3
DAFTAR ISI.....	4
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR TABEL	10
DAFTAR ISTILAH.....	11
DAFTAR PERATURAN.....	13
BAB 1 PENDAHULUAN	15
1.1 Latar Belakang	15
1.2 Tujuan Kajian	18
1.3 Metodologi.....	19
BAB 2 TERMINOLOGI DAN STANDAR <i>REFUSE DERIVED FUEL</i> (RDF) DAN <i>SOLID RECOVERED FUEL</i> (SRF)	21
2.1 Terminologi Refuse Derived Fuel (RDF) dan Solid Recovered Fuel (SRF)	21
2.2 Spesifikasi SRF dan RDF	24
2.2.1 Spesifikasi SRF Menurut EN 15359.....	24
2.2.2 Klasifikasi RDF Menurut ASTM.....	25
2.2.3 Standar Nasional RDF di Jerman	28
2.2.4 Standar Nasional RPF di Jepang	30
2.2.5 Standar Nasional RPF di Korea	30
2.2.6 Standar Nasional CCS di Italia	31
2.2.7 Kebutuhan Spesifikasi Standar RDF di Indonesia	32
BAB 3 IMPLEMENTASI RDF DI INDONESIA	34
3.1 Implementasi RDF dalam Program <i>Co-firing</i> di PLTU PLN	34
3.1.1 Fasilitas Pengolahan Sampah Menjadi RDF TOSS Gema Santi di Klungkung, Bali.....	35
3.1.2 Fasilitas Pengolahan Sampah Menjadi RDF TPA Jabon, Sidoarjo	36
3.2 Implementasi RDF sebagai bahan bakar alternatif di Industri Semen	37
3.2.1 Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di Cilacap.....	37
3.2.2 Fasilitas <i>Pilot</i> Pengolahan Sampah <i>Landfill Mining</i> menjadi RDF di Bantar Gebang.....	41
3.2.3 Fasilitas <i>Pilot</i> Pengolahan Sampah Menjadi RDF oleh PT Semen Indonesia di Gresik, Jawa Timur.....	43
3.2.4 Fasilitas <i>Pilot Bio-drying</i> Pengolahan Sampah menjadi RDF Indocement Plant Citeureup .	44
3.2.5 Fasilitas <i>Pilot Bio-drying</i> di PT SBI Pabrik Narogong.....	45

3.3 Implementasi Pembangunan Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST.....	46
3.3.1 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF TPST Samtaku, Jimbaran.....	46
3.3.2 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST Kertalangu Kota Denpasar	47
3.3.3 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST Samtaku Lamongan	49
3.3.4 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST Bantar Gebang Bekasi.....	49
3.3.5 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPPAS Lulut Nambo Jawa Barat.....	50
3.3.6 Rencana Pembangunan Fasilitas RDF di Kelurahan Rorotan, Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta	51
3.4 Dukungan Pembangunan Fasilitas RDF oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dengan Dukungan Kementerian/Lembaga Lain	52
3.4.1 Rencana Pembangunan Fasilitas RDF oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).....	52
3.4.2 Fasilitas Kajian Kelayakan Pembangunan RDF oleh Kementerian ESDM	57
3.4.3 Rencana Pembangunan Fasilitas Pengolahan Sampah Kementerian Koordinator Bidang Maritim dan Investasi	58
3.5 Rencana Pembangunan Fasilitas RDF sebagai Bahan Bakar <i>Co-firing</i> di PLTU.....	58
3.5.1 Program Citarum Harum	58
3.5.2 <i>Pilot Project</i> Jeranjang Olah Sampah Setempat (JOSS) di Jeranjang, NTB.....	61
3.6 Rencana Pemanfaatan RDF sebagai Bahan Bakar <i>Boiler</i> di PT Tjiwi Kimia.....	61
BAB 4 IMPLEMENTASI SRF/RDF DI PASAR GLOBAL.....	62
4.1 Pasar SRF/RDF di Eropa dan Asia	62
4.2 Implementasi RDF di Industri Semen Global	65
4.2.1 Eropa	65
4.2.2 Asia.....	67
4.2.3 Afrika	69
4.3 Implementasi RDF di Industri Pembangkit Listrik dan Termal	70
4.3.1 Eropa	70
4.3.2 Amerika	70
4.3.3 Asia.....	71
4.4 Implementasi RDF di Industri Besi dan Baja	71
4.4.1 Asia.....	71
4.5 Implementasi RDF di Industri Pulp dan Kertas	72
4.5.1 Eropa	72
BAB 5 POTENSI INDUSTRI PEMANFAAT RDF DI INDONESIA.....	75
5.1 Potensi Pemanfaatan RDF di Industri Pembangkit	76
5.2 Potensi Pemanfaatan RDF di Sektor Industri Pengolahan.....	77

5.2.1 Industri Semen	80
5.2.2 Industri Pupuk.....	95
5.2.3 Industri Pulp dan Kertas	99
5.2.4 Industri Besi dan Baja	109
BAB 6 IDENTIFIKASI SPESIFIKASI RDF SESUAI INDUSTRI PEMANFAAT	117
6.1 Spesifikasi RDF di Pembangkit	117
6.2 Spesifikasi RDF di Industri Pengolahan.....	127
6.2.1 Spesifikasi RDF untuk Industri Semen	128
6.2.2 Spesifikasi RDF di Industri Pupuk	130
6.2.3 Spesifikasi RDF untuk Industri Pulp dan Kertas.....	133
6.2.4 Spesifikasi RDF untuk Industri Besi Baja	135
BAB 7 REKOMENDASI PENGEMBANGAN <i>OFF-TAKER</i> RDF	137
7.1 Industri Pemanfaat Prioritas.....	137
7.1.1 Industri Semen	137
7.1.2 Industri Pupuk.....	138
7.1.3 Industri Pulp dan Kertas	139
7.1.4 Industri Besi dan Baja	140
7.2 Rekap Potensi Pemanfaatan Industri	141
BAB 8 PENUTUP.....	143
DAFTAR PUSTAKA	145

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Target pengurangan emisi GRK dalam Dokumen ENDC	16
Gambar 1.2	Tahapan proses dan pengelompokan kegiatan berdasarkan proses.....	19
Gambar 2.1	Tipikal bentuk RDF (kiri) dan SRF (kanan).....	22
Gambar 2.2	Skema rincian perbedaan RDF dan SRF	23
Gambar 2.3	RDF dan SRF dalam Rantai Waste to Fuel (WtF)	24
Gambar 2.4	Spesifikasi SRF dalam Standar EN 15359 “SRF-Specification and Classes”	24
Gambar 2.5	Perbandingan Nilai Kalor Bersih (<i>Net Calorific Value</i> , NCV) beberapa standar RDF.....	27
Gambar 2.6	Perbandingan kadar kelembaban (%) beberapa standar RDF	27
Gambar 2.7	Perbandingan kadar sulfur serta kadar klorin (%) beberapa standar RDF.....	28
Gambar 2.8	Bentuk RDF <i>Fluff</i> (kiri) dan Pelet (kanan).....	32
Gambar 3.1	Proses pemilahan sampah di TOSS Center	36
Gambar 3.2	Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPA Jabon	37
Gambar 3.3	Fasilitas RDF Plant Cilacap	38
Gambar 3.4	Alur proses fasilitas RDF Plant Cilacap.....	38
Gambar 3.5	<i>Layout</i> fasilitas RDF <i>Plant</i> Cilacap	39
Gambar 3.6	Peralatan <i>shredder</i> di fasilitas RDF <i>Plant</i> Cilacap	39
Gambar 3.7	<i>Bio-drying</i> di fasilitas RDF <i>Plant</i> Cilacap	40
Gambar 3.8	Mesin <i>screen</i> di fasilitas RDF <i>Plant</i> Cilacap	40
Gambar 3.8	Konsumsi RDF di Pabrik Semen PT SBI Cilacap	41
Gambar 3.10	Alur proses pengolahan sampah <i>landfill mining</i> menjadi RDF di TPST Bantar Gebang Sumber: DLH DKI Jakarta, 2021	42
Gambar 3.11	Peralatan pengolahan sampah <i>landfill mining</i> menjadi RDF	42
Gambar 3.12	Jumlah sampah dan produk RDF <i>Pilot</i> TPST Bantar Gebang.....	43
Gambar 3.13	Produk RDF pengolahan sampah <i>landfill mining pilot</i> TPST Bantar Gebang	43
Gambar 3.14	Alur proses produksi RDF di <i>Pilot Project</i> Ngipik, Gresik	44
Gambar 3.15	Alur proses produksi RDF di <i>Pilot Project</i> Citeureup	44
Gambar 3.16	Peralatan produksi RDF di Pabrik Indocement Palimanan Cirebon.....	45
Gambar 3.17	Geotainer sebagai <i>pilot project</i> SBI	46
Gambar 3.18	TPST Samtaku Jimbaran.....	47
Gambar 3.19	Pelet RDF produk TPST Samtaku Jimbaran	47
Gambar 3.20	Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPST Kertalangu	48
Gambar 3.21	Fasilitas TPST Samtaku Lamongan	49
Gambar 3.22	Diagram alir pengolahan sampah segar menjadi RDF TPST Bantar Gebang.....	50
Gambar 3.23	Fasilitas pabrik RDF di TPST Bantar Gebang.....	50
Gambar 3.24	Lokasi pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPPAS Lulut Nambo	51
Gambar 3.25	Lokasi pembangunan Fasilitas RDF Kelurahan Rorotan, Kecamatan Cilincing, Jakarta Utara	52
Gambar 3.26	Kunjungan Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah (BPIW) di TPST Kebon Kongok	55
Gambar 3.27	Proses pengolahan sampah lama dan baru menjadi RDF Kabupaten Tuban	55
Gambar 3.28	Desain tata letak mesin proses pengolahan RDF	56
Gambar 3.29	Rancangan Gerbang TPST Regional Magelang.....	57
Gambar 3.30	Pengelolaan RDF dalam Skema Citarum Harum	59

Gambar 3.31	Rencana tata letak RDF dalam Skema Citarum Harum (1).....	60
Gambar 3.32	Rencana tata letak RDF dalam Skema Citarum Harum (2)	60
Gambar 3.33	Pabrik Kertas Tjiwi Kimia	61
Gambar 4.1	Rantai nilai RDF	63
Gambar 4.2	Tingkat substitusi termal bahan bakar alternatif di industri semen global	64
Gambar 4.3	Pemanfaatan RDF di beberapa negara Eropa (DGE, RECORD, 2018)	64
Gambar 4.4	Pemanfaatan bahan bakar alternatif di Industri Semen Austria.....	66
Gambar 4.5	Konsumsi bahan bakar alternatif di Industri Semen di Italia tahun 2010 -2017.....	67
Gambar 4.6	Pembangunan RDF <i>boiler</i> di fasilitas pabrik kertas Sandersforf-Brehna, Jerman	73
Gambar 4.7	Pembangunan RDF <i>boiler</i> di fasilitas Pabrik Kertas Condat Paper Mill, Prancis.....	74
Gambar 5.1	Industri potensial pemanfaat RDF.....	75
Gambar 5.2	Sebaran TPA di kota/kabupaten terdekat dengan PLTU di Indonesia	77
Gambar 5.3	Total konsumsi energi industri 2021.....	78
Gambar 5.4	Konsumsi energi final di sektor industri	78
Gambar 5.5	Konsumsi batubara berdasarkan Sektor dan Industri 2016 – 2021	79
Gambar 5.6	Proyeksi kebutuhan energi final untuk sektor industri	79
Gambar 5.7	Peta sebaran lokasi pabrik semen di Indonesia	80
Gambar 5.8.	Proyeksi produksi klinker di Indonesia	82
Gambar 5.9	Peta potensi pemanfaatan RDF dari pengolahan sampah di Semen Indonesia Group... 84	84
Gambar 5.10	Persyaratan minimum fasilitas pemanfaatan RDF di pabrik semen	87
Gambar 5.11	Sistem pengumpanan RDF di Pabrik Cilacap.....	88
Gambar 5.12	Tren TSR industri semen	88
Gambar 5.13.	Target TSR Semen Indonesia Group	88
Gambar 5.14	Target TSR Semen Indonesia Group	89
Gambar 5.15	Proyeksi TSR industri semen tahun 2030.....	89
Gambar 5.16	Contoh pengendalian kualitas RDF di SBI Pabrik Cilacap.....	90
Gambar 5.17	Contoh pemasangan sistem bypass	90
Gambar 5.18	Ekstraksi debu dalam sistem bypass	91
Gambar 5.19	Sistem AK Taiheiyo	91
Gambar 5.20	Reaktor HOTDISC®	92
Gambar 5.21	Transportasi RDF ke sistem HOTDISC®	93
Gambar 5.22	Baku mutu emisi industri semen pemanfaat RDF	93
Gambar 5.23	Pemantauan emisi udara industri semen	94
Gambar 5.24	Jarak pabrik semen dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Daerah Istimewa Aceh, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Banten, dan Jawa Barat	94
Gambar 5.25	Jarak pabrik semen dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur	95
Gambar 5.26	Jarak pabrik semen dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, dan Papua	95
Gambar 5.27	Sebaran industri pupuk di Indonesia.....	96
Gambar 5.28	Diagram proses industri pupuk	97
Gambar 5.29	Bahan bakar di industri pupuk	97
Gambar 5.30	Ilustrasi industri pupuk.....	97
Gambar 5.31	Jarak pabrik pupuk dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Daerah Istimewa Aceh, Kalimantan Timur, dan Jawa Timur	99
Gambar 5.32	Sebaran industri pulp dan kertas di Indonesia.....	100
Gambar 5.33	Proyeksi produksi pulp di Indonesia.....	101

Gambar 5.34	Proyeksi produksi kertas di Indonesia	101
Gambar 5.35	Proses industri pulp dan kertas	102
Gambar 5.36	Proporsi energi di Industri Pulp dan Kertas	102
Gambar 5.37	Kebutuhan energi final di industri pulp dan kertas	103
Gambar 5.38	Distribusi penggunaan energi di pabrik pulp dan kertas	103
Gambar 5.39	Kebutuhan energi termal IPK	104
Gambar 5.40	Proses pembuatan kertas	105
Gambar 5.41	Distribusi energi di pabrik kertas	105
Gambar 5.42	Proses produksi pulp di APRIL	107
Gambar 5.43	Jarak pabrik pulp dan kertas dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Riau, dan Jambi	108
Gambar 5.44	Jarak pabrik pulp dan kertas dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Banten, Jawa Barat, dan Jawa Timur	109
Gambar 5.45	Sebaran Industri Besi Baja di Indonesia	110
Gambar 5.46	Teknologi pembuatan besi dan baja	111
Gambar 5.47	Proses produksi baja	112
Gambar 5.48	Jenis produk industri baja berdasarkan proses produksi baja	113
Gambar 5.49	Pola penggunaan energi di pabrik baja	114
Gambar 5.50	Jarak pabrik besi baja dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Daerah Istimewa Aceh, Sumatera Utara, Jawa Barat, dan Banten	115
Gambar 5.51	Jarak terdekat pabrik besi baja dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Kalimantan Selatan, Jawa Timur, Sulawesi Tengah	116
Gambar 6.1	Spesifikasi batubara di pembangkit	117
Gambar 6.2	Ilustrasi jenis boiler PLTU PLN	118
Gambar 6.3	Jenis RDF yang sesuai dengan boiler PLTU PLN (a) <i>Fluff</i> untuk <i>PC Boiler</i> ; (b) <i>Pellet</i> untuk <i>CFB Boiler</i> ; (c) Briket untuk <i>Stoker Boiler</i>	119
Gambar 6.4	RDF dalam bentuk cacahan fluff (kiri) dan produk akhir RDF berbentuk pellet (kanan). Bentuk pellet RDF ini akan digunakan pada PLTU Jeranjang	125
Gambar 6.5	Ilustrasi boiler di Industri	127
Gambar 6.6	Ilustrasi boiler di Industri Pupuk	131
Gambar 6.7	Jenis RDF berdasarkan tipe boiler di Industri Pupuk	131
Gambar 6.8	Persyaratan spesifikasi batubara untuk tipe boiler PF dan CFB	132
Gambar 6.9	Jenis RDF berdasarkan tipe boiler di IPK	134
Gambar 6.10	Boiler di CRM PT KS	136

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Strategi pengurangan emisi Sektor Limbah Sub Sektor Limbah Padat Domestik.....	16
Tabel 2.1	Klasifikasi RDF yang ditentukan berdasarkan ASTM.....	25
Tabel 2.2	Metode uji sampel RDF menurut Standar ASTM	26
Tabel 2.3	Standar Analisis Finger Print BS EN	26
Tabel 2.4	Kualitas bahan bakar RDF dalam Standar Nasional RAF-GZ 724 (d:basis kering/dry basis) .	28
Tabel 2.5	Persyaratan kualitas untuk SRF yang diproduksi menurut Standar Jerman: RAL GZ 724 dengan merek dagang BPGTM dan SBSTM. (ar: seperti yang diterima/ <i>as received</i> ; d: dasar kering/ <i>dry basis</i>).....	29
Tabel 2.6	Kualitas RPF dan RPF <i>coke</i> dalam Standar JIS Z 7311 (ar: <i>as received</i> ; d: <i>dry basis</i>).....	30
Tabel 2.7	Kualitas RDF, RPF, TDF, WCF, dan SRF dalam Standar Nasional Korea	30
Tabel 2.8	Persyaratan kualitas bahan bakar untuk SRF yang dikenal dengan CSS di Italia, ditetapkan dalam standar nasional UNI/TS (ar: <i>as received</i> ; d: <i>dry basis</i>).....	31
Tabel 3.1	Rencana peningkatan kapasitas pengolahan sampah di Fasilitas RDF Cilacap	41
Tabel 3.2	Rencana pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF oleh Kementerian PUPR dengan dukungan Kementerian/Lembaga lain.	52
Tabel 3.3	Fasilitasi penyusunan FS proyek pembangunan fasilitas RDF	57
Tabel 3.4	Usulan lokasi pembangunan fasilitas RDF dan TPST Tahun 2023.....	58
Tabel 3.5	Usulan lokasi pembangunan fasilitas RDF dan TPST Tahun 2024.....	58
Tabel 3.6	Lokasi pembangunan Program Citarum Harum	60
Tabel 5.1	Kebutuhan dan spesifikasi batubara industri semen.....	81
Tabel 5.2	Potensi pemanfaatan RDF di Semen Indonesia Group	83
Tabel 5.3	Ringkasan potensi pemanfaatan RDF di Semen Indonesia Group.	84
Tabel 5.4	Potensi pemanfaatan RDF di pabrik semen selain Semen Indonesia Group.	85
Tabel 5.5	Peralatan penyimpanan dan pengumpanan RDF di Pabrik Semen	87
Tabel 5.6	Kebutuhan energi di Grup Pupuk Indonesia	96
Tabel 5.7	Kapasitas terpasang IPK.....	99
Tabel 5.8	Jumlah IPK yang beroperasi dan tidak beroperasi.....	100
Tabel 5.9	Kebutuhan energi Industri IPK 2020 - 2022	104
Tabel 5.10	Kebutuhan energi Industri IPK 2020 – 2022.....	106
Tabel 5.11	Kapasitas produksi perusahaan baja berbahan baku biji besi.....	110
Tabel 5.12	Kapasitas produksi perusahaan baja berbahan baku bijih besi.....	110
Tabel 5.13	Klasifikasi teknologi direct reduction	111
Tabel 5.14	Dampak parameter RDF terhadap kinerja industri baja dan besi	115
Tabel 6.1	Parameter RDF dan dampaknya pada proses co-firing pembangkit batubara.....	122
Tabel 6.2	Spesifikasi standar bahan bakar jampukan padat untuk pembangkit listrik.....	124
Tabel 6.3	Analisis proximat dan ultimate RDF pellet dari fasilitas Kebon Kongok.....	126
Tabel 6.4	Persyaratan kualitas SRF ditetapkan dalam spesifikasi yang disepakati produsen dan pengguna akhir (pembangkit listrik tenaga batubara, 2016, Italia) - Kelas SRF yang diperlukan: 3:3:3– (ar: seperti yang diterima (<i>as received</i>); d: dasar kering (<i>dry basis</i>)).	126
Tabel 6.5	Spesifikasi RDF untuk industri semen di Indonesia	129
Tabel 6.6	Spesifikasi RDF Cilacap.....	129
Tabel 6.7	Spesifikasi RDF PT Indocement	129
Tabel 7.1	Rekap potensi pemanfaatan RDF di industri pengolahan.....	141

DAFTAR ISTILAH

- 1) *Controlled landfill* atau pengurugan berlapis terkendali adalah sarana pengurugan sampah yang bersifat antara, sebelum mampu melaksanakan operasi pengurugan berlapis bersih. Tempat sampah yang telah diurug dan didapadtkan di area pengurugan ditutup dengan tanah, sedikitnya satu kali setiap 7 hari.
- 2) Daur ulang adalah kegiatan mendaur suatu material yang dianggap tidak berguna menjadi material lain yang berguna setelah melalui proses pengolahan.
- 3) Gas Rumah Kaca (GRK) adalah gas yang menyerap radiasi inframerah yang dilepaskan oleh permukaan bumi, yang kemudian menghangatkan permukaan bumi dan troposfer.
- 4) *Open dumping* atau sistem pembuangan sampah secara terbuka adalah sistem pembuangan sampah yang paling sederhana dimana sampah dibuang tanpa ada perlakuan lebih lanjut.
- 5) Pengelolaan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.
- 6) Pemerintah Daerah adalah Gubernur/Walikota/Bupati sebagai unsur penyelenggara Pemerintahan Daerah yang memimpin pelaksanaan urusan pemerintahan yang menjadi kewenangan daerah otonom.
- 7) Pemanasan Global adalah kejadian meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan daratan bumi.
- 8) RDF (*Refuse Derived Fuel*) adalah sampah yang mudah terbakar dan terpisahkan dari bagian yang sulit terbakar melalui proses pencacahan, pengayakan dan pengeringan. Karena tidak ada definisi resmi dari RDF, kandungan dan kualitas dari RDF dapat menjadi bervariasi. Meskipun pada umumnya memiliki nilai kalori yang baik dan kandungan klorin yang rendah, namun komposisinya belum terstandarisasi.
- 9) *Reduce, reuse, recycle* yang selanjutnya disingkat 3R adalah segala aktivitas untuk mengurangi sampah melalui kegiatan pembatasan timbulan sampah (*reduce*), pendauran ulang sampah (*recycle*), dan pemanfaatan kembali sampah (*reuse*).
- 10) Sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat yang terdiri atas sampah rumah tangga maupun sampah sejenis sampah rumah tangga.
- 11) Sampah rumah tangga adalah sampah yang berasal dari kegiatan sehari-hari dalam rumah tangga yang tidak termasuk tinja dan sampah spesifik.
- 12) Sampah sejenis sampah rumah tangga adalah sampah rumah tangga yang berasal dari Kawasan pemukiman, Kawasan komersial, Kawasan industri, Kawasan khusus, fasilitas sosial, fasilitas umum, dan/atau fasilitas lainnya.
- 13) Sampah organik adalah sampah yang berasal atau dihasilkan oleh makhluk hidup yang terdiri dari bahan yang mudah terurai melalui proses alam.
- 14) Sampah anorganik adalah sampah yang berasal dari bahan yang sebagian maupun keseluruhan yang tidak dapat diuraikan oleh alam, atau hanya dapat diuraikan dalam waktu tertentu yang meliputi sampah yang dapat digunakan kembali, sampah yang dapat didaur ulang, dan/atau sampah lainnya.
- 15) Sampah spesifik adalah sampah yang karena sifat, konsentrasi, dan/atau volumenya memerlukan pengelolaan khusus.

- 16) Sampah liar adalah sampah yang berada di lokasi yang tidak diperuntukkan sebagai tempat pembuangan sampah sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.
- 17) Sumber sampah adalah asal timbulan sampah.
- 18) SRF merupakan bahan bakar yang diproduksi dari sampah non-B3 yang sesuai dengan standar Eropa EN 15359. Walaupun standar ini bukan merupakan kewajiban, produsen harus melakukan spesifikasi dan klasifikasi terhadap SRF dengan merinci nilai kalor bersih SRF dan kandungan klorin serta merkuri dari SRF. Spesifikasi (yang bersifat wajib) meliputi beberapa karakteristik lain, seperti kandungan seluruh logam berat yang disebutkan dalam Petunjuk Emisi Industri (*Industrial Emissions Directive*).
- 19) Tempat pengolahan sampah dengan prinsip 3R (*Reduce, Reuse, Recycle*) yang selanjutnya disebut TPS3R adalah tempat dilaksanakannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, dan daur ulang.
- 20) Tempat Pengolahan Sampah Terpadu yang selanjutnya disingkat TPST adalah tempat dilaksanakannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, daur ulang, pengolahan, dan pemrosesan akhir sampah.
- 21) Tempat Pemrosesan Akhir yang selanjutnya disingkat TPA adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke lingkungan.

DAFTAR PERATURAN

Daftar Peraturan	Singkatan
Undang-Undang No. 30 Tahun 2007 tentang Energi	UU 30/2007
Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah	UU 18/2008
Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup	UU 32/2009
Undang-Undang No. 23 Tahun 2014 tentang Pemerintahan Daerah	UU 23/2014
Undang-Undang No. 11 Tahun 2020 tentang Cipta Kerja	UU 11/2020
Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara	PP 41/1999
Peraturan Pemerintah No. 27 Tahun 2012 tentang Izin Lingkungan	PP 27/2012
Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja	PP 50/2012
Peraturan Pemerintah No. 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga	PP 81/2012
Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional	PP 79/2014
Peraturan Pemerintah No.97 Tahun 2017 tentang Jakstranas Pengelolaan Sampah Rumah Tangga & Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga	PP 97/2017
Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup	PP 22/2021
Peraturan Presiden No.35 Tahun 2018 tentang Percepatan Pembangunan Instalasi Pengolahan Sampah Menjadi Energi Listrik Berbasis Teknologi Ramah Lingkungan	Peraturan Presiden No.35 Tahun 2018
Peraturan Menteri Keuangan No. 26/PMK.07/2021 tentang Dukungan Pendanaan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara bagi Pengelolaan Sampah di Daerah	PermenKeu 26/2021
Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-13/MENLH/3/1995 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak	Kep MenLH 13/1995
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2012 tentang Kegiatan yang Wajib Memiliki AMDAL	PermenLH 5/2012
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 16 Tahun 2012 tentang Pedoman Penyusunan AMDAL	PermenLH 16/2012
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.59/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Baku Mutu Lindi Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Tempat Pemrosesan Akhir Sampah	PermenLHK 59/2016
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.63/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2016 tentang Persyaratan dan Tata Cara	PermenLHK 63/2016

Daftar Peraturan	Singkatan
Penimbunan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun di Fasilitas Penimbunan Akhir	
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.70/Menlhk/Setjen/Kum.1/8/2016 tentang Baku Mutu Emisi Usaha dan/atau Kegiatan Pengolahan Sampah Secara Termal	PermenLHK 70/2016
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 4 Tahun 2021 tentang Daftar Usaha dan/atau Kegiatan yang Wajib Memiliki Analisis Mengenai Dampak Lingkungan Hidup, Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup atau Surat Pernyataan Kesanggupan Pengelolaan dan Pemantauan Lingkungan Hidup	PermenLHK 4/2021
Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 5 Tahun 2021 tentang Tata cara Penerbitan Persetujuan Teknis dan Surat Kelayakan Operasional Bidang Pengendalian dan Pencemaran Lingkungan	PermenLHK 5/2021
Peraturan Menteri Dalam Negeri No. 33 Tahun 2010 tentang Pedoman Pengelolaan Sampah	PermenDN 33/2010
Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 3/PRT/M/2013 Tahun Penyelenggaraan Prasarana dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga	PermenPU 3/2013
Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik	Permen ESDM 12/2017
Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 4 Tahun 2020 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 50 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik	Permen ESDM 4/2020
Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2021 tentang Tata Cara Perhitungan Tarif Retribusi Dalam Penyelenggaraan Penanganan Sampah	Permendagri 7/2021

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), volume sampah di Indonesia pada tahun 2020 mencapai 67,8 juta ton. Pada tahun tersebut, jumlah sampah yang ditimbun mencapai 21.162.936 ton (Ditjen PSLB3 KLHK, 2021). KLHK memperkirakan tingkat emisi GRK limbah padat domestik yang dilepaskan dari 514 *landfill* di kabupaten/kota di Indonesia pada tahun 2030 sebesar 58,22 juta ton CO₂e.

Berbagai upaya telah dilakukan oleh Pemerintah dalam menghindari emisi GRK dari sektor limbah. Berdasarkan data KLHK, mengacu pada target NDC sektor limbah tahun 2030, target penurunan emisi GRK sektor limbah di tahun 2020 sebesar 1.279.467 ton CO₂e sedangkan capaian mitigasi yang dapat dilaporkan pada tahun tersebut sebesar 670.870 ton CO₂e.

Peraturan Presiden Nomor 97 Tahun 2017 tentang Strategi dan Kebijakan Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sejenis Sampah Rumah Tangga telah menetapkan target nasional pengurangan sampah sebesar 30% dan penanganan sampah 70% pada tahun 2025. Sejumlah aksi untuk mencapai target pengelolaan sampah nasional didorong untuk mendukung konsep sampah menjadi energi (*waste to energy*) sebagai bagian dari aksi mitigasi iklim, salah satunya adalah pengolahan sampah menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF).

Pengolahan sampah menjadi RDF selain penting dalam keberlanjutan pengelolaan sampah, juga sangat penting dalam kerangka efisiensi sumber daya, yakni dalam pemulihan energi dari sampah. RDF memiliki kalori bersih yang cukup baik dan kualitas yang konsisten sebagai pengganti sebagian panas yang dihasilkan oleh bahan bakar konvensional yang digunakan oleh industri. Melalui pemanfaatan energi dari hasil proses pengolahan sampah, produksi RDF dari sampah juga mendukung peningkatan ekonomi sirkular.

Sejalan dengan hal tersebut, salah satu aksi mitigasi yang didorong KLHK dalam rangka mengurangi potensi emisi GRK dari sektor limbah adalah memanfaatkan RDF di industri semen dalam skema *co-processing* dan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara dalam skema *co-firing* atau dibakar bersama batubara. Berdasarkan penelitian *European Recovered Fuel Organisation* (ERFO): “SRF Markets” Maret 2006, setiap 1 ton RDF melalui produksi RDF dari sampah dan pemanfaatan RDF pada proses *co-firing* diperkirakan dapat mengurangi emisi CO₂ sebesar 1,75-ton CO₂/ton RDF.

Pada pertemuan *Conference of the Parties* (COP) 21 UNFCCC di Paris tahun 2015, Pemerintah Indonesia telah menyatakan komitmen untuk menurunkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 29% berdasarkan skema *Business as Usual* (BAU) pada tahun 2030, dan sebesar 41% dengan dukungan internasional. Lebih lanjut, komitmen Pemerintah diperkuat melalui penyampaian dokumen NDC yang ditingkatkan (*Enhanced NDC*) kepada UNFCCC pada tanggal 23 September 2022 dengan target pengurangan emisi menjadi 31,89% tanpa syarat dan 43,20% apabila mendapatkan dukungan internasional. NDC yang ditingkatkan ini adalah transisi menuju NDC Kedua Indonesia yang akan diselaraskan dengan *Long-Term Low Carbon and Climate Resilience Strategy* (LTS-LCCR) 2050 dengan visi mencapai Emisi Nol Bersih (*Net Zero Emission*) pada tahun 2060 atau lebih cepat.

Sector	GHG Emission Level 2010* (Mton CO ₂ -eq)	GHG Emission Level 2030			GHG Emission Reduction				Annual Average Growth BAU (2010-2030)	Average Growth 2000-2012
		Mton CO ₂ -eq			Mton CO ₂ -eq		% of Total BaU			
		BaU	CM1	CM2	CM1	CM2	CM1	CM2		
1. Energy*	453.2	1,669	1,311	1,223	358	446	12.5%	15.5%	6.7%	4.50%
2. Waste	88	296	256	253	40	43.5	1.4%	1.5%	6.3%	4.00%
3. IPPU	36	69.6	63	61	7	9	0.2%	0.3%	3.4%	0.10%
4. Agriculture	110.5	119.66	110	108	10	12	0.3%	0.4%	0.4%	1.30%
5. Forestry and Other Land Uses (FOLU)**	647	714	214	-15	500	729	17.4%	25.4%	0.5%	2.70%
TOTAL	1,334	2,869	1,953	1,632	915	1,240	31.89%	43.20%	3.9%	3.20%

Notes: CM1= Counter Measure 1 (*unconditional mitigation scenario*)

CM2= Counter Measure 2 (*conditional mitigation scenario*)

*) Including fugitive.

**) Including emission from estate and timber plantations.

Gambar 1.1 Target pengurangan emisi GRK dalam Dokumen ENDC

Sumber: Dokumen *Enhanced NDC* Indonesia, 2022

Di dalam pemutakhiran dokumen NDC Indonesia tahun 2022, tercatat target pengurangan emisi GRK pada tahun 2030 untuk sektor limbah sebesar 40 juta ton CO₂e dengan upaya sendiri (1,4% dari BAU) dan sebesar 43,5 juta ton CO₂e dengan dukungan internasional (1,5% dari BAU).

Salah satu strategi yang dipilih pemerintah untuk menurunkan emisi GRK dari sektor limbah adalah meningkatkan pengelolaan sampah domestik dengan pertimbangan bahwa permasalahan sampah merupakan salah satu tantangan utama kabupaten/kota di Indonesia. Berikut adalah strategi pengurangan emisi GRK di dalam dokumen ENDC Sektor Limbah Sub Sektor Limbah Padat Domestik.

Tabel 1.1 Strategi pengurangan emisi Sektor Limbah Sub Sektor Limbah Padat Domestik.

No		BAU	CM1	CM2
1	Pemulihan dan utilisasi <i>Landfill Gas</i> (LFG)	Tidak ada pemulihan LFG	Implementasi pemulihan LFG yang didukung dengan rehabilitasi TPA <i>open dumping</i> menjadi <i>sanitary landfill</i> dan dilengkapi dengan pemanfaatan gas metana. Pengurangan 1,5 juta ton CO ₂ -eq berasal dari pemanfaatan LFG untuk >5.900 rumah tangga dan daya LFG >45 MW.	Penerapan pemulihan LFG yang didukung dengan rehabilitasi TPA <i>open dumping</i> menjadi <i>sanitary landfill</i> dan dilengkapi dengan pemanfaatan gas metana. Pengurangan 1,5 juta ton CO ₂ -eq berasal dari pemanfaatan LFG untuk >5.900 rumah tangga dan daya LFG >45 MW.
2	Pemanfaatan sampah dengan pengomposan 3,7 juta ton MSW dan 3R	Tidak ada kegiatan tambahan atau penegakan pada pengomposan dan 3R	Pengolahan sampah dengan pengomposan 3,7 juta ton MSW dan 3R untuk menggunakan kembali/mendaur ulang kertas hingga 3,7 juta ton. Fasilitas tersebut antara lain: - Bank sampah 762 unit	Pengolahan sampah dengan pengomposan 3,7 juta ton MSW dan 3R untuk menggunakan kembali/mendaur ulang kertas hingga 3,7 juta ton. Fasilitas tersebut antara lain: - Bank sampah 762 unit

No		BAU	CM1	CM2
			- TPST 2857 unit (1469 unit terintegrasi dengan pengomposan) - TPS3R 3018 (1703 unit terintegrasi dengan pengomposan). Target untuk mengeliminasi 4,8 juta ton CO ₂ -eq	- TPST 2857 unit (1469 unit terintegrasi dengan pengomposan) - TPS3R 3018 (1703 unit terintegrasi dengan pengomposan). Target untuk mengeliminasi 4,8 juta ton CO ₂ -eq
3	Implementasi PLTSa/RDF (<i>Refuse Derived Fuel</i>) PLTSa = Pembangkit Listrik Tenaga Sampah	Tidak ada upaya <i>waste to energy</i>	Pemanfaatan limbah dengan mengkonversi menjadi energi melalui RDF (di industri) atau sebagai sumber energi terbarukan di PLTSa. Fasilitas PLTSa/RDF akan mengolah 4,6 juta ton MSW untuk menghindari 1,9 juta ton CO ₂ eq	Pemanfaatan limbah dengan mengkonversi menjadi energi melalui RDF (di industri) atau sebagai sumber energi terbarukan di PLTSa. Fasilitas PLTSa/RDF akan mengolah 4,6 juta ton MSW untuk menghindari 1,9 juta ton CO ₂ -eq
4	Pemanfaatan sampah untuk beralih dari TPA menjadi <i>zero landfill</i> pada tahun 2060	Tidak ada arahan tentang pembuangan <i>zero landfill</i>	Pemanfaatan limbah semakin ditingkatkan dengan tambahan fasilitas pemulihan & pemanfaatan limbah menjadi energi atau MSW yang mengolah 10,2 juta ton MSW pada tahun 2030 untuk menghindari 6,2 juta ton CO ₂ -eq	Pemanfaatan limbah semakin ditingkatkan dengan tambahan fasilitas pemulihan & pemanfaatan limbah menjadi energi atau MSW yang mengolah 10,2 juta ton MSW pada tahun 2030 untuk menghindari 6,2 juta ton CO ₂ -eq
5	Pengelolaan limbah cair domestik	Tidak ada aksi mitigasi	IPAL Terpusat/Terpadu (skala kota/komunal/wilayah) yang dioperasikan dengan sistem aerobik IPLT untuk mengolah pembuangan lumpur dari sistem septik <i>biodigester</i> dan pemanfaatan <i>biogass</i>	IPAL Terpusat / Terpadu (skala kota/komunal/wilayah) yang dioperasikan dengan sistem aerobik IPLT untuk mengolah pembuangan lumpur dari sistem septik <i>Biodigester</i> dan pemanfaatan <i>biogass</i>

Sumber: ENDC, 2022

Seperti terlihat pada tabel di atas, RDF merupakan salah satu strategi aksi mitigasi emisi GRK yang dinyatakan dalam dokumen ENDC. Pemanfaatan limbah dengan mengkonversi menjadi energi melalui RDF (di industri) atau sebagai sumber energi terbarukan di PLTSa. Fasilitas PLTSa/RDF akan mengolah 4,6 juta ton MSW untuk menghindari 1,9 juta ton CO₂-eq

KLHK memperkirakan potensi pemanfaatan RDF oleh PLTU sebesar 16.000 ton/hari sedangkan industri semen berpotensi untuk memanfaatkan 8.000 ton RDF/hari. Dari kedua industri tersebut potensi sampah yang dapat diolah sekitar 24 ribu ton/hari. Adapun total potensi sampah di Indonesia yang

dapat dikelola menjadi RDF diperkirakan sebesar 26,4 ribu ton/hari dengan potensi pengurangan emisi GRK sebesar 4,67 juta ton CO₂e/tahun (Ditjen PSLB3 KLHK, 2021).

Namun demikian, beberapa tantangan masih dihadapi pemerintah dalam implementasi pemanfaatan RDF di Indonesia. Kondisi saat ini, pemanfaatan RDF sebagai bahan bakar *co-firing* di PLTU batubara masih dalam tahap uji coba oleh PT Indonesia Power (IP) dan PT Pembangunan Jawa Bali (PJB) sebagai anak usaha PT PLN (Persero). Sementara itu, pemanfaatan RDF di industri semen di seluruh Indonesia masih sangat kecil.

Lokasi industri semen dan PLTU di Indonesia menjadi keterbatasan pengembangan RDF sebagai bahan bakar alternatif, sehingga kemungkinan untuk melibatkan industri lain sebagai pemanfaat RDF, terutama industri pengguna *boiler* dianggap perlu untuk dieksplorasi. Pemetaan industri pemanfaat RDF potensial perlu menyertakan identifikasi karakteristik RDF dan instalasi fasilitas tambahan yang diperlukan oleh industri tersebut. Selain itu, kapasitas pemanfaatan RDF di industri potensial perlu dipetakan untuk memperkirakan keberlanjutan implementasi RDF sebagai bahan bakar alternatif.

1.2 Tujuan Kajian

Terdapat dua tujuan utama dari kegiatan ini, yaitu sebagai berikut:

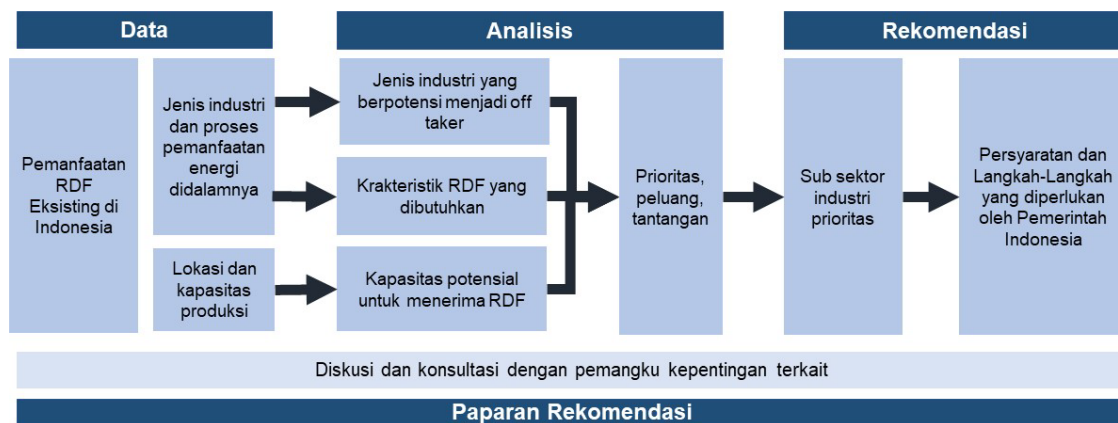
- (1) Mengidentifikasi *off-taker* potensial, baik Industri Semen maupun industri lainnya, untuk mendukung pengembangan implementasi RDF di Indonesia, mencakup karakteristik *off-taker* dan tantangan pemanfaatan RDF oleh *off-taker* tersebut.
- (2) Memetakan kapasitas potensial setiap *off-taker* untuk memanfaatkan RDF

Untuk mencapai tujuan tersebut, telah dilakukan sejumlah langkah, sebagai berikut:

- a) Mengumpulkan referensi, baik data sekunder maupun data primer.
- b) Konsultasi dengan pemangku kepentingan terkait, baik institusi pemerintah, maupun kalangan industri untuk mengidentifikasi kajian terkait serta memperoleh data dan informasi terkini.
- c) Memetakan jenis industri lahan energi yang berpotensi untuk memanfaatkan RDF.
- d) Mengkaji karakteristik setiap jenis industri, khususnya terkait kebutuhan bahan bakar dan mekanisme pemanfaatan RDF.
- e) Memetakan lokasi industri yang berpotensi menjadi *off-taker* RDF terhadap lokasi sumber sampah yang berpotensi memberikan pasokan sampah.
- f) Mendokumentasikan proses kegiatan serta menyusun laporan akhir dan bahan presentasi sesuai kebutuhan.
- g) Menyampaikan hasil kajian kepada pemangku kepentingan dalam bentuk rekomendasi prioritas jenis industri yang berpotensi menjadi *off-taker* RDF.

1.3 Metodologi

Kajian ini menggunakan metode deskriptif kualitatif dan kuantitatif untuk memperoleh gambaran tentang potensi pemanfaatan RDF oleh industri di Indonesia. Teknik yang digunakan dalam kajian ini menggunakan tabulasi baik untuk membandingkan maupun analisis.



Gambar 1.2 Tahapan proses dan pengelompokan kegiatan berdasarkan proses

Adapun metodologi dalam kajian ini adalah sebagai berikut:

(1) Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam kajian ini adalah data sekunder dan data primer. Data Primer diperoleh melalui wawancara dan diskusi dengan pemangku kepentingan terkait. Data primer diperlukan untuk mengetahui kondisi eksisting kesiapan serta kebutuhan industri pemanfaat RDF, baik dari sisi kapasitas, spesifikasi, maupun tantangan dan kebutuhan dukungan.

Data primer yang dibutuhkan antara lain data sumber energi utama industri, kebutuhan energi, spesifikasi bahan bakar yang digunakan (nilai kalor, komposisi, kadar air, ukuran, senyawa minor yang tidak dikehendaki), harga bahan bakar, serta data lain yang terkait.

Data sekunder 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 untuk melengkapi data primer.

(2) Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada kajian ini terdiri dari 3 (tiga) tahapan. Tahap pertama adalah identifikasi kondisi eksisting pemanfaatan RDF di Indonesia, termasuk potensi industri pemanfaat RDF di Indonesia. Tahap kedua adalah mengidentifikasi karakteristik dan kebutuhan setiap industri yang berpotensi memanfaatkan RDF, memetakan lokasi industri terhadap sumber pasokan sampah yang

potensial, serta mengidentifikasi tantangan dan peluang penerapan RDF di setiap industri tersebut. Tahap ketiga adalah analisis kesenjangan antara kondisi saat ini dengan kondisi yang ideal atau seharusnya, khususnya pada aspek-aspek yang menjadi penghambat atau menjadi permasalahan utama dalam pemanfaatan RDF. Analisis ini akan menjadi dasar penyusunan rekomendasi jenis industri prioritas untuk mendukung pengembangan implementasi RDF. Tinjauan ini antara lain memuat aspek teknologi, kualitas, pasar, ekonomi, dan lainnya.

(3) Konsultasi

Pada tahap ini dilakukan komunikasi dan konsultasi dengan penasihat GIZ, lembaga/kementerian terkait seperti Kemenperin, PUPR, Bappenas, dan instansi terkait untuk mendapatkan masukan mengenai hasil analisis yang disusun.

(4) Rekomendasi

Berdasarkan analisis data, dirumuskan rekomendasi terkait jenis industri prioritas untuk mendukung pengembangan RDF berikut pemetaan tantangan yang harus dihadapi dan rekomendasi strategi yang perlu dijalankan oleh Pemerintah.

(5) Laporan dan Dokumentasi

Dokumentasi kegiatan, laporan, serta bahan presentasi disusun sesuai kebutuhan dalam tahapan proses kajian.

BAB 2 TERMINOLOGI DAN STANDAR REFUSE DERIVED FUEL (RDF) DAN SOLID RECOVERED FUEL (SRF)

2.1 Terminologi Refuse Derived Fuel (RDF) dan Solid Recovered Fuel (SRF)

Refuse Derived Fuel (RDF) adalah sampah mudah terbakar yang telah dipisahkan dari limbah atau sampah melalui proses pemilahan, pengayakan, dan proses pra pengolahan (*pre treatment*) lainnya. RDF umumnya diperoleh dari limbah industri, sampah domestik (*Municipal Solid Waste/MSW*), residu biomassa yang telah melalui proses pemilahan dan reduksi menjadi ukuran yang lebih kecil.

Untuk memproduksi RDF dari sampah tercampur, komponen sampah yang memiliki nilai seperti kertas, logam, dan komponen berharga lainnya dipisahkan untuk didaur ulang, sedangkan komponen yang tidak dapat diolah menjadi RDF seperti kaca, kerikil, limbah dari material bangunan disingkirkan, selanjutnya sampah terpilah diproses dalam alur produksi RDF. Komposisi dan kualitas dari RDF dapat sangat bervariasi, meskipun pada umumnya RDF memiliki nilai kalori yang lebih tinggi dan kandungan klorin yang lebih rendah dibandingkan sampah tercampur.

RDF dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil pada proses *co-incineration* di pembangkit listrik tenaga batubara (*coal-fired* dan *brown coal-fired power plant*), pabrik semen, pabrik pembakaran kapur, unit insenerasi sampah atau unit yang didedikasikan untuk pemulihan energi dari RDF menjadi listrik seperti *power plant* berbahan bakar RDF.

Beberapa negara di Eropa telah menjadikan RDF sebagai komoditas, namun karena persyaratan kualitas RDF tidak diatur secara spesifik oleh masing-masing negara, otoritas setempat kemudian menerapkan persyaratan tambahan dalam izin lingkungan pemanfaatan RDF. Beberapa persyaratan tambahan tersebut antara lain ukuran butiran RDF (Witzenhausen, Jerman), kategori/klasifikasi RDF (Fusina, Italia), kualitas dan asal/origin RDF (Anjalankoski, Finlandia), dan kontrol kualitas RDF (Jepua, Finlandia).

Di beberapa kota di Prancis, terdapat lebih sedikit parameter kualitas RDF dibandingkan yang disyaratkan oleh Pemerintah Perancis. Di Jerman, Austria, dan Swedia, fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF tidak hanya ditujukan bagi pemulihan RDF dari sampah domestik, namun sekaligus diperbolehkan untuk memulihkan limbah tidak berbahaya lainnya dari sampah industri jika secara teknis memungkinkan.

Solid Recovered Fuel (SRF) merujuk pada bahan bakar padat, dibuat dari limbah tidak berbahaya, dan memenuhi persyaratan standar Eropa EN 15359 atau standar nasional yang setara. Meskipun standar EN 15359 bukan merupakan suatu kewajiban untuk dipenuhi, namun produsen disyaratkan mengklasifikasikan SRF dengan merinci nilai kalor bersih, kandungan klorin dan kandungan merkuri. Spesifikasi SRF juga meliputi beberapa parameter lainnya seperti kandungan logam berat seperti dinyatakan dalam Petunjuk Emisi Industri (*Industrial Emissions Directive*) serta mematuhi persyaratan kualitas seperti klasifikasi dan spesifikasi yang ditetapkan dalam Standar Eropa EN15539, serta diperdagangkan, dikirim, dan digunakan di bawah kode EWC 191210.

Sebagai catatan, kesesuaian produk SRF harus dideklarasikan secara jelas oleh produsen. Meskipun di dalam Standar Eropa definisi SRF telah disepakati, namun kualitas final SRF tetap ditentukan oleh pengguna, dengan kata lain kualitas SRF pada produk akhir juga dapat bervariasi. Standar pengolahan SRF global mengacu pada *Quality Management System (QMS)*, EN 15358 *SRF Quality Management System-Particular requirement for their application to the production of Solid Recovered Fuels (SRF)*.

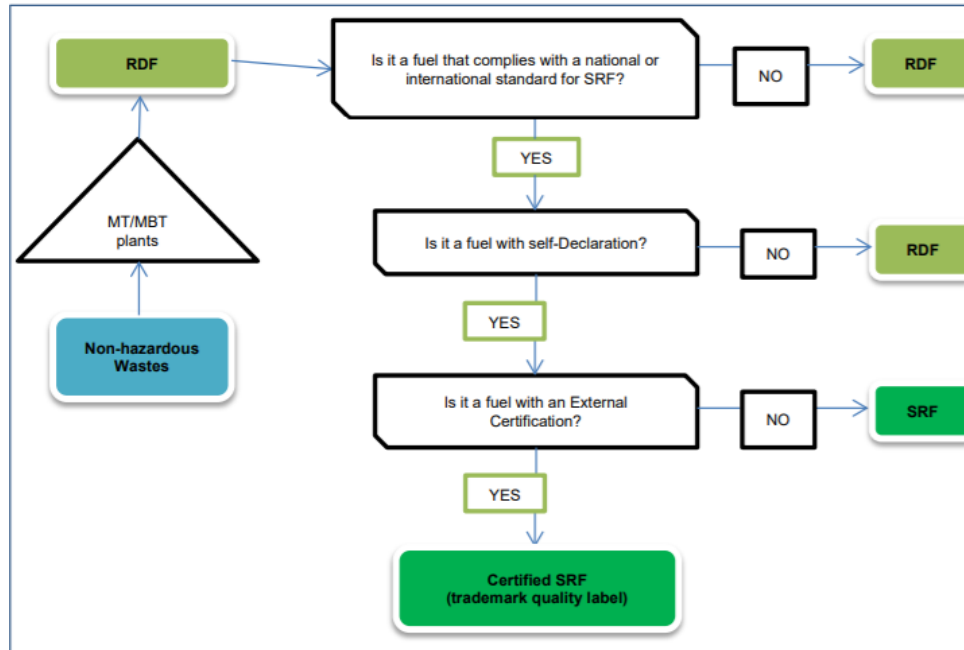
SRF merupakan material sisa berkualitas tinggi yang dihasilkan dari limbah kegiatan industri dan komersial seperti kertas, kardus, kayu, tekstil dan plastik, dan telah melalui berbagai tahapan proses untuk meningkatkan kualitas dan harga SRF. Oleh karena itu, SRF merupakan bahan bakar yang dijamin kualitasnya secara ketat, dan tidak boleh disamakan dengan istilah 'bahan bakar turunan sampah' (RDF).



Gambar 2.1 Tipikal bentuk RDF (kiri) dan SRF (kanan)

Sumber: ERFO,2016

Perbedaan lain antara SRF dan RDF adalah karakteristik produk dilihat dari material penyusun produk. SRF memiliki karakteristik lebih homogen dan lebih sedikit mengandung kontaminan dibandingkan dengan RDF, serta memiliki spesifikasi khusus yang ditetapkan. Di sisi lain, material penyusun RDF lebih heterogen dan spesifikasinya banyak dipengaruhi oleh sampah yang digunakan sebagai bahan baku RDF. Gambar berikut ini memperlihatkan secara skematik untuk menyisahkan SRF dari RDF:



Gambar 2.2 Skema rincian perbedaan RDF dan SRF

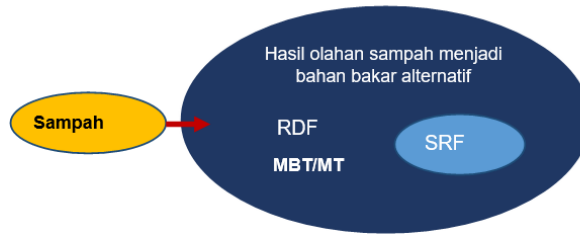
Sumber: IEA Bionenergy, 2020

Untuk mendapatkan sertifikasi produk alur proses produksi SRF harus mengikuti prosedur jaminan kualitas yang ditetapkan oleh standar tertentu. Kepatuhan untuk memenuhi persyaratan kualitas SRF yang lebih ketat, terkait sifat bahan bakar, dapat diminta oleh pengguna akhir SRF sebagai bahan bakar (misalnya kiln semen, pembangkit listrik, pabrik gasifikasi) melalui perjanjian spesifikasi dengan produsen untuk mendapatkan bahan bakar yang sesuai dengan kebutuhan ekonomi/teknologi mereka secara spesifik.

Persyaratan spesifik tersebut telah dirangkum oleh standar SRF, seperti EN 15539 dan pengembangan standar SRF selanjutnya yaitu ISO 21640. SRF terutama diperdagangkan dan dikelola sebagai limbah, namun SRF dapat juga diperdagangkan sebagai komoditas bahan bakar di beberapa negara seperti Italia dan Austria, dengan persyaratan ketat untuk mematuhi aturan yang ditetapkan secara hukum yang memungkinkan SRF dinyatakan sebagai bahan bakar sehingga tidak lagi terikat pada peraturan terkait limbah.

Teknologi pengolahan sampah menjadi SRF dapat memiliki konfigurasi yang bervariasi, tetapi umumnya dirancang untuk menghasilkan produk SRF yang memiliki ukuran partikel kurang dari 30 mm, kadar air kurang dari 15%, dan nilai kalor lebih besar 18 MJ/kg. Nilai kalor pada SRF secara umum lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor RDF. Harga SRF umumnya lebih tinggi dibandingkan RDF karena harus memenuhi parameter kualitas dan nilai kalori yang ditentukan, yang pencapaiannya membutuhkan peralatan khusus seperti pemilahan optik, densifikasi, serta pengendalian fraksi merkuri dan klor.

Sebaliknya, RDF umumnya memiliki persyaratan kualitas yang lebih longgar sehingga potensi variasi kualitas RDF lebih besar dibandingkan SRF. Sampah yang digunakan untuk produksi RDF lebih beragam jenisnya, sedangkan pada SRF umumnya merupakan pilahan sampah jenis tertentu dengan nilai kalor lebih tinggi, misalnya sampah impuritis daur ulang industri kertas.



Gambar 2.3 RDF dan SRF dalam Rantai Waste to Fuel (WtF)

Berdasarkan beberapa definisi tentang RDF dan SRF tersebut, secara singkat dapat disimpulkan bahwa SRF merupakan bagian dari RDF jika dilihat dari sampah yang digunakan sebagai bahan baku proses produksinya, namun spesifikasi SRF ditentukan secara ketat.

2.2 Spesifikasi SRF dan RDF

2.2.1 Spesifikasi SRF Menurut EN 15359

Karena luasnya kegiatan perdagangan SRF/RDF, khususnya di Eropa, para produsen SRF sepakat untuk menyelaraskan kualitas SRF. Pada tahun 2003, Komisi Eropa untuk Standarisasi (*European Committee for Standardization* (CEN)), membentuk komite CEN/TC 343 untuk mengembangkan Standar EN 15359 SRF– Spesifikasi dan Kelas”.

Spesifikasi SRF yang ditentukan menurut Standar **EN 15359 “SRF-Specification and Classes”** sebagai berikut:

Classification characteristic	Statistical measure	Unit	Classes				
			1	2	3	4	5
Net calorific value (NCV)	Mean	MJ/kg (ar)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3

Classification characteristic	Statistical measure	Unit	Classes				
			1	2	3	4	5
Chlorine (Cl)	Mean	% (d)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3

Classification characteristic	Statistical measure	Unit	Classes				
			1	2	3	4	5
Mercury (Hg)	Median	mg/MJ (ar)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	80 th percentile	mg/MJ (ar)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

Gambar 2.4 Spesifikasi SRF dalam Standar EN 15359 “SRF-Specification and Classes”

Sumber: European Committee for Standardisation. Solid Recovered Fuels Specifications and classes (DD CEN/TS 15359:2006), 2006

2.2.2 Klasifikasi RDF Menurut ASTM

Berdasarkan *American Standard Testing and Material* (ASTM E856-83), terdapat 7 (tujuh) jenis RDF yang diklasifikasikan sesuai dengan bentuk dan proses pemilahan awal RDF. Jenis RDF sesuai dengan ASTM sebagai berikut:

- (1) RDF-1 adalah RDF dalam bentuk turunan dari sampah, merupakan *Municipal Solid Waste* (MSW) yang digunakan sebagai bahan bakar yang telah dipisahkan dari sampah yang berukuran besar dan tebal.
- (2) RDF-2 adalah MSW yang diproses menjadi partikel kasar dengan atau tanpa logam besi (*ferrous metal*). Sub-kategori dari RDF-2 merupakan serpihan RDF yang kemudian dipisahkan sebesar 95% berat dapat melewati saringan *mesh* 6 dan dipadatkan (sekitar 300 kg/m³), (disebut juga sebagai *coarse* RDF atau c-RDF);
- (3) RDF-3 merupakan bahan bakar yang dicacah yang berasal dari MSW dan diproses untuk memisahkan logam, kaca, dan bahan anorganik lainnya, dengan ukuran partikel 95% dari berat yang dapat melewati saringan berukuran 2 inch persegi (disebut juga sebagai Fluff RDF);
- (4) RDF-4 merupakan fraksi sampah yang dapat dibakar (*combustible*) yang diolah menjadi bentuk serbuk, 95% berat dapat melalui saringan *mesh* 10 (disebut juga sebagai *dust* RDF atau p-RDF);
- (5) RDF-5 dihasilkan dari fraksi sampah yang dapat dibakar yang kemudian dipadatkan menjadi 600 kg/m³, dalam bentuk granula, *slags*, *cubettes*, briket, dsb (disebut juga dengan *densified* RDF atau d-RDF);
- (6) RDF-6 adalah MSW yang diproses menjadi bahan bakar dalam bentuk cair;
- (7) RDF-7 adalah MSW yang diproses menjadi bahan bakar dalam bentuk gas.

Tabel 2.1 Klasifikasi RDF yang ditentukan berdasarkan ASTM

ASTM Classification	Description
RDF 1	<i>MSW used as RDF in as discarded form</i>
RDF 2	<i>MSW processed to a course 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>
RDF 5	<i>MSW that has been processed and densified (compressed) into the form of pellets, slugs, cobettes or briquettes</i>

ASTM	
Classification	Description
RDF 6	<i>MSW that is processed into a liquid fuel</i>
RDF 7	<i>MSW that has been processed into gaseous fuel</i>

Sumber: ASTM E856-83

Meskipun berbagai jenis RDF dapat dibedakan berdasarkan komposisinya, RDF dapat diproduksi dalam bentuk bahan lepas (*fluff*) atau pelet yang dapat diolah kembali menjadi produk yang lebih padat. Hal ini tergantung pada beberapa faktor termasuk namun tidak terbatas pada kebutuhan pengguna, kemudahan transportasi berdasarkan jarak unit produksi dengan pelanggan akhir, kebutuhan penyimpanan, jenis sistem umpan pembakaran RDF yang dimiliki pelanggan, dan sebagainya.

ASTM juga menyediakan standar metode uji untuk abu, *chlorine*, kadar sulfur untuk sampel RDF sebagai berikut:

Tabel 2.2 Metode uji sampel RDF menurut Standar ASTM

Metode 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
<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

Untuk analisis *finger print* dikenal juga metode uji menggunakan standar British yaitu BS EN.

Tabel 2.3 Standar Analisis *Finger Print* BS EN

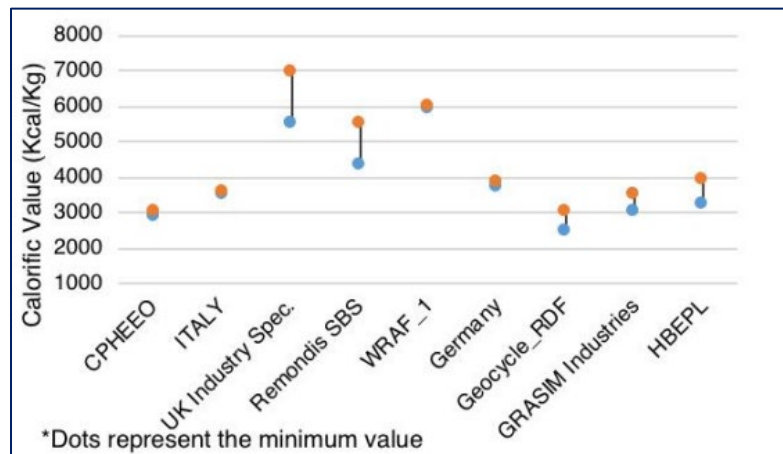
Parameter Uji	BS EN
<i>Net Calorific Value</i>	BS EN 15400:2011
<i>Particle Size</i>	BS EN 15415-1:2011
<i>Ash content</i>	BS EN 15403:2011
<i>Moisture content</i>	BS EN 15414-3:2011
<i>Chlorine content</i>	BS EN 15408:2011

Klasifikasi RDF di Eropa diatur oleh UNI CEN/TS 15359 berdasarkan 3 (tiga) sifat bahan bakar, yaitu *net calorific value* berfungsi sebagai indikator ekonomi, kandungan klorin sebagai indikator teknologi, dan kandungan merkuri sebagai parameter lingkungan. Klasifikasi tersebut bertujuan untuk menentukan secara rinci sifat kimia dan fisika RDF yang menjamin dari penyalahgunaan ketika RDF diperjualbelikan seperti batubara.

Referensi terbaru standar SRF adalah ISO 21640 dapat dilihat pada laman <https://www.iso.org/standard/71309.html>.

Klasifikasi berbeda terdapat di Inggris, dimana RDF diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu: c-RDF, d-RDF, dan f-RDF, klasifikasi terakhir menjadi *undensified flock* RDF yang mirip dengan RDF halus.

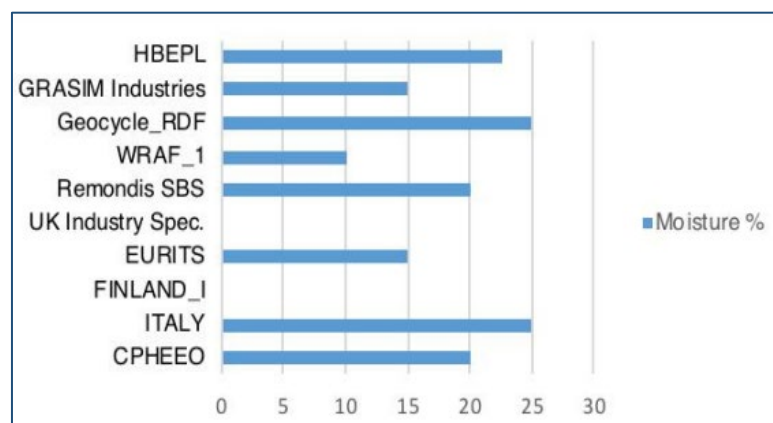
Namun demikian, di beberapa negara, hasil olahan sampah sebagai bahan bakar bisa saja tidak disebut sebagai SRF/RDF. Oleh karena itu, standar RDF dilakukan tanpa kriteria pengguna akhir tertentu. Perbandingan Nilai Kalor Bersih (*Net Calorific Value, NCV*) beberapa standar RDF disajikan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Perbandingan Nilai Kalor Bersih (*Net Calorific Value, NCV*) beberapa standar RDF

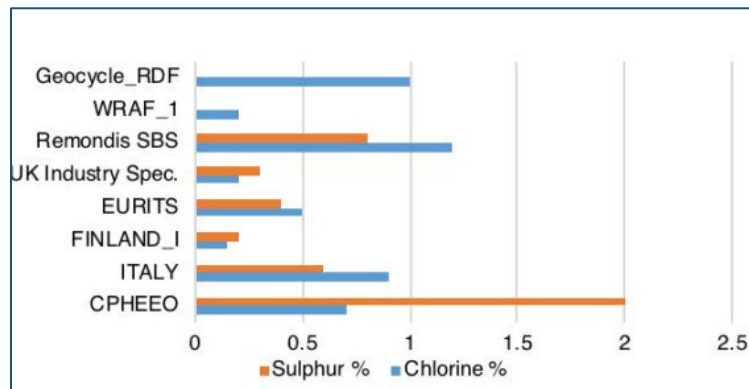
Sumber: www.swachhbharaturban.gov.in, 2018

Perbandingan kadar *moisture*, kadar sulfur serta kadar klorin beberapa standar RDF disajikan pada gambar sebagai berikut:



Gambar 2.6 Perbandingan kadar kelembaban (%) beberapa standar RDF

Sumber: www.swachhbharaturban.gov.in, 2018



Gambar 2.7 Perbandingan kadar sulfur serta kadar klorin (%) beberapa standar RDF

Sumber: www. swachhbharaturban.gov.in, 2018

Parameter terpenting saat menggunakan RDF sebagai bahan bakar pengganti di industri semen atau industri pembangkit energi adalah Nilai Kalor Bersih (NCV). Parameter penting lainnya adalah Klorin (C), Sulfur (S), kadar kelembapan, dan kadar abu.

2.2.3 Standar Nasional RDF di Jerman

Jerman memiliki standar nasional RDF (RAL-GZ 724), ditujukan untuk pemanfaatan RDF di pembangkit listrik, kiln semen, dan kiln kapur, tetapi tidak digunakan oleh fasilitas yang didedikasikan untuk pemulihan energi dari RDF. Standar ini menetapkan ambang batas kualitas RDF dan membutuhkan kontrol eksternal dan proses sertifikasi.

Tabel 2.4 Kualitas bahan bakar RDF dalam Standar Nasional RAF-GZ 724 (d:basis kering/*dry basis*)

Key parameter	Limit Value (median)	Limit value (80th percentile)	Unit	Boundary (End-uses)
As	0.31	0.81	mg/MJ, d	Co- incineration
Cd	0.25	0.56	mg/MJ, d	
Co	0.38	0.75	mg/MJ, d	
Cr	7.8	16	mg/MJ, d	
Hg	0.038	0.075	mg/MJ, d	
Mn	16	31	mg/MJ, d	
Ni	5	10	mg/MJ, d	
Pb	12	25	mg/MJ, d	
Sb	3.1	7.5	mg/MJ, d	
Sn	1.9	4.4	mg/MJ, d	
Tl	0.063	0.13	mg/MJ, d	
V	0.63	1.6	mg/MJ, d	

BGS 2 Gütegemeinschaft Sekundärbrennstoffe und Recyclingholz e. V., Güte- und Prüfbestimmungen für Sekundärbrennstoffe [Quality and monitoring rules for SRF], RAL-GZ 724, Sankt Augustin, Januar 2013

Sumber: RAL RAL-GZ 724, 2012 Quality Assurance for Solid Recovered Fuels. Edition January 2012 (German Standard).

SRF yang memenuhi standar nasional RAF-GZ 724 saat ini diproduksi dengan label (*brand*) BPGTM dan SBGTM.

BPGTM mengidentifikasi SRF yang dihasilkan hanya dari limbah industri dan komersial yang diurutkan dari sumbernya. Tiga kategori kualitatif BPGTM berdasarkan pemanfaat SRF yaitu: BPG 1TM (pembangkit listrik), BPG 2TM (kiln semen) dan BPG 3TM (kiln kapur).

Label SBSTM mengidentifikasi SRF yang dihasilkan dari sampah kota serta limbah konstruksi dan pembongkaran. Dua kategori kualitatif SBSTM berdasarkan pemanfaat SRF sebagai berikut: SBS 1TM (pembangkit listrik lignit) dan SBS 2TM (pembangkit listrik batubara dan kiln semen). Tabel berikut menunjukkan persyaratan kualitas yang ditetapkan di Jerman untuk bahan bakar yang dipulihkan berdasarkan pelabelan di atas:

Tabel 2.5 Persyaratan kualitas untuk SRF yang diproduksi menurut Standar Jerman: RAL GZ 724 dengan merek dagang BPGTM dan SBSTM. (ar: seperti yang diterima/*as received*; d: dasar kering/*dry basis*)

Key parameter	Unit	BPG™ 1 value	BPG™2 Value	BPG™ 3 Value	SBS™ 1 value	SBS™ 2 value
NCV	MJ/kg,ar	16-20	20-24	23-27	13-18	18-23
Moisture	%, ar	<35	<20	<12,5	<35	<20
Ash	mg/kg d	<20	<15	<9	<20	<15
Cl	%, dm	<1.0	<1.0	<1.0	<0.7	<1.0
F	%, dm	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
S	%, dm	<0.2	<0.3	<0.3	<0.5	<0.8
As	mg/kg,d	<10	<10	<10	<10	<10
Be	mg/kg,d	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Cd	mg/kg,d	<9	<9	<9	<9	<9
Co	mg/kg,d	<12	<12	<12	<12	<12
Cr	mg/kg,d	<120	<120	<120	<250	<250
Cu	mg/kg,d	<400	<400	<400	<1000	<1000
Hg	mg/kg,d	<0,5	<0,5	<0,5	<1,0	<1,0
Mn	mg/kg,d	<100	<100	<100	<400	<400
Ni	mg/kg,d	<50	<50	<50	<160	<160
Pb	mg/kg,d	<100	<100	<100	<400	<400
Sb	mg/kg,d	<120	<120	<120	<120	<120
Se	mg/kg,d	<4	<4	<4	<5	<5
Sn	mg/kg,d	<70	<70	<70	<70	<70
Te	mg/kg,d	<4	<4	<4	<5	<5
Tl	mg/kg,d	<1	<1	<1	<1	<1
V	mg/kg,d	<15	<15	<15	<25	<25
Origin		residues from paper production rejects, punching, photograph y paper, blocks wet-strength paper, cellulose cloths, etc..	paper wastes as BPG® 1, plastics (resins, polyacryli c, polyester, polyolefin, PUR...), fibre fabrics, carpets, etc..	low ash plastics (resins, polyacrylic, polyester, polyolefin, PUR...),	different high calorific fractions from MSW demolition wastes	as SBSTM 1
Boundary (end-use)		power plants	cement kiln	lime kiln	coal (lignite) power plants	coal (hard coal) power plants cement kilns

BPG™ (Brennstoff aus produktionsspezifischen Gewerbeabfällen)
SBS™ (Substitutbrennstoff)

Sumber: RAL RAL-GZ 724, 2012 Quality Assurance for Solid Recovered Fuels. Edition January 2012 (German Standard)

2.2.4 Standar Nasional RPF di Jepang

Di Jepang, sistem klasifikasi dan persyaratan kualitas bahan bakar dari sampah/limbah ditetapkan dalam standar nasional JIS Z 7311 untuk bahan bakar turunan limbah bernama RPF (*Refuse derived Paper and Plastics Densified Fuel*) and RPF-coke (*RPF with Coke-Level Gross Calorific Value*).

Tabel 2.6 Kualitas RPF dan RPF coke dalam Standar JIS Z 7311 (ar: *as received*; d: *dry basis*)

Key parameter	Value (mean) RPF-coke	Value (mean) RPF class A	Value (mean) RPF class B	Value (mean) RPF class C	Unit	Boundary (End-uses)
NCV	≥33	≥25	≥25	≥25	MJ/kg, ar	Coal co-combustion (cement kiln, power plants) Incineration Co-incineration
Moisture	≤3	≤5	≤5	≤5	%, ar	
Ash	≤5	≤10	≤10	≤10	%, d	
Cl (residual)	≤0.6	≤0.3	>0.3 - ≤0.6	>0.6 - ≤2.0	%, ar	

Sumber: JIS Z 7311:2011. *Refuse Derived Paper and Plastics Densified Fuel* (RPF)

2.2.5 Standar Nasional RPF di Korea

Pada tahun 2012, Korea membuat kodifikasi bahan bakar sekunder secara keseluruhan sebagai bahan bakar padat yang secara kualitatif dibedakan menjadi RDF (dalam bentuk pelet atau bentuk lainnya), RPF (analog dari RPF di Jepang), TDF (*Tyre Derived Fuel*/bahan bakar turunan ban) dan WCF (*Wood Chip Fuel*/bahan bakar serpihan kayu).

Pada tahun 2013 istilah SRF diperkenalkan di Korea oleh Undang-undang Nasional, dan dua jenis SRF saat ini yang diakui adalah SRF sampah dan SRF biomassa. Tabel berikut menunjukkan parameter yang relevan, dan nilai batas yang ditetapkan untuk SRF yang diadopsi dari waktu ke waktu di negara tersebut.

Tabel 2.7 Kualitas RDF, RPF, TDF, WCF, dan SRF dalam Standar Nasional Korea

Parameter	Solid Fuel (Until 2012)					Solid Refuse Fuel (Since January of 2013)			
	RDF (Refuse Derived Fuel)		RPF (Refuse Plastic Fuel)	TDF (Tyre Derived Fuel)	WCF (Wood Chip Fuel)	SRF		Bio-SRF (Biomass-SRF)	
Type	Pellet	Non-Pellet	Pellet	-	-	Pellet	Non-Pellet	Pellet	Non-Pellet
Diameter (mm) *width	≤30	-	≤50	-	-	≤50	≤50*	≤50	≤120
Length (mm) *height	≤100	Passing Rate ≥95% (50 mm x 50mm)	≤100	≤120	≤100	≤100	≤50*	≤100	≤120
Moisture (% wt.)	≤10	≤25		≤10		≤10	≤25	≤10	≤25
Low Heating Value (kcal/kg)		≥ 3,500		≥ 6,000	≥ 3,500	≥ 3,500	≥ 3,500	≥ 3,000	≥ 3,000
Ash (% wt,dry basis)		≤20		≤4	≤8	≤20		≤15	
Chlorine (% wt,dry basis)		≤2			≤0.3	≤2		≤0.5	
Sulfur (% wt,dry basis)		≤0.6		≤2.0	≤1.2	≤0.6		≤0.6	
Metals (mg/kg, dry basis)	Hg		≤1.2		≤1.0	≤1.0		≤0.6	
	Cd		≤9.0		≤2.0	≤5.0		≤5.0	
	Pb		≤200.0		≤3.0	≤150		≤100	
	As		≤13.0		≤2.0	≤13.0		≤5.0	
	Cr				≤30.0	-		≤70.0	
Heating Value (kcal/kg)	1				≤6,500				
	2		5,500-6,500		6,000-6,500	5,500-6,500			
	3	4,500-5,500	-		-	4,500-5,500			
	4	3,500-4,500	-		-	3,500-4,500			
Chlorine (% wt,dry basis)	1			<0.5		<0.3			
	2			≥0.5-<1.0		-			
	3			≥1.5-<1.5		-			
	4			≥1.5-<2.0		-			

*Ministry of Environment: Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources Enforcement Regulation (Addendum 7)

Sumber: Korean Ministry of Environment, 2013. Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources Enforcement Regulation

2.2.6 Standar Nasional CCS di Italia

Di Italia bahan bakar sekunder yang berasal dari sampah domestik, baik bahan bakar limbah yang tidak diatur spesifikasinya (RDF) dan yang diatur spesifikasinya (SRF), saat ini dikenal dengan CSS 5. Adapun tahun-tahun sebelumnya, CDR 6 diproduksi di pabrik MT/MBT. CSS secara legal diidentifikasi di Italia sebagai bahan bakar padat sekunder yang dihasilkan dari aliran limbah yang harus memenuhi persyaratan klasifikasi dan spesifikasi yang ditetapkan oleh Standar Eropa EN 15539. CSS diidentifikasi di Italia sebagai SRF. Standar nasional CSS di Italia dibuat untuk mendukung penerapan standar Eropa dan kebutuhan untuk persyaratan kualitas bahan bakar seperti untuk karakterisasi CSS serta bahan bakar limbah lainnya sehubungan dengan pemanfaatan biomassa dan kandungan kandungan energi biomassa.

Tabel 2.8 Persyaratan kualitas bahan bakar untuk SRF yang dikenal dengan CSS di Italia, ditetapkan dalam standar nasional UNI/TS (ar: *as received*; d: *dry basis*).

Fuel	Key parameter	Limit Value (statistic: mean)	Unit	Boundary (End-uses)
CDR of normal quality	Moisture	<25	%, ar	incineration/co-incineration combustion industrial plants
	Ash	<20	%, d	
	NCV	>15000	KJ/kg, ar	
	Cl (total)	0.9	%, ar	
	As	<9	mg/kg, d	
	Cd	<7	mg/kg, d	
	Hg	<3	mg/kg, d	
	Cr	<100	mg/kg, d	
	Cu (soluble)	<300	mg/kg, d	
	Mn	<400	mg/kg, d	
	Ni	<40	mg/kg, d	
	Pb (volatile)	<200	mg/kg, d	
CDR -Q of high quality	S	<0.6	mg/kg, d	coal co-combustion (cement kiln) coal co-combustion (power plant)
	Moisture	<15	%, ar	
	Ash	<15	%, d	
	NCV	>20000	KJ/kg, ar	
	Cl (total)	<0.7	%, ar	
	As	<5	mg/kg, d	
	Cd	<7	mg/kg, d	
	Hg	<1	mg/kg, d	
	Cr	<70	mg/kg, d	
	Cu (soluble)	<50	mg/kg, d	
	Mn	<200	mg/kg, d	
	Ni	<30	mg/kg, d	
Pb (volatile)	<100	mg/kg, d		
S	<0.3	mg/kg, d		

CSS: Combustibile Solido Secondario (secondary solid fuel) 6 CDR: Combustibile Derivato da Rifiuti (refuse derived fuel); dibedakan dengan label CDR-N (normal quality) and CDR-Q (high quality)

Catatan: Persyaratan kualitas bahan bakar yang ditetapkan dalam standar nasional UNI 9903 untuk SRF berlabel di Italia CDR-N dan CDR-Q, diperdagangkan sebagai limbah (ar: *as received*; d: *dry basis*)

Sumber:

- (1) UNI TR 11581:2015. *Secondary sold fuels. Guideline for the application of the standards UNI EN 15539 and UNI EN 15538.*
- (2) UNI TS 11553:2014. *Secondary sold fuels– Specification of CSS obtained through the mechanical treatment of not-hazardous wastes.*
- (3) UNI TS 11597:2015. *Characterization of waste and SRF regarding biomass and energy content.*
- (4) UNI 9903-01:2004 *Non mineral refuse derived fuels - Specifications and classification*

2.2.7 Kebutuhan Spesifikasi Standar RDF di Indonesia

Standardisasi RDF pada dasarnya adalah pengaturan spesifikasi parameter utama RDF sehingga kualitas produk RDF dapat dibandingkan dan dikendalikan. Manajemen mutu RDF sebagai bagian dari standardisasi RDF akan berperan penting dalam pemasaran RDF dan menciptakan kepercayaan pihak yang terlibat yaitu produsen RDF, pengguna akhir, dan pembuat kebijakan/pemerintah setempat.

Standar RDF penting untuk diterapkan karena RDF berasal dari limbah/sampah yang komposisinya heterogen dan dengan demikian rentan terhadap fluktuasi komposisi.



Gambar 2.8 Bentuk RDF *Fluff* (kiri) dan *Pelet* (kanan)

Sumber: Holcim Indonesia, 2019

Secara singkat, standar RDF perlu dikembangkan di Indonesia dengan mempertimbangkan faktor-faktor berikut yang relevan:

a) Heterogenitas sampah

Sampah domestik di Indonesia sangat heterogen dengan tidak adanya pemisahan pada sumber sampah, sehingga kualitas RDF yang dihasilkan tidak hanya sangat bervariasi tetapi berpotensi memiliki kualitas rendah sebagai bahan bakar. Di sisi lain, pemanfaat RDF membutuhkan RDF dengan kualitas dan kuantitas yang konsisten.

b) Perbedaan spesifikasi RDF bagi pemanfaat

Persyaratan dan spesifikasi RDF akan berbeda untuk industri sejenis dan tidak sejenis. RDF dengan kualitas tertentu yang dibutuhkan oleh satu pabrik semen mungkin tidak cocok untuk pabrik semen lain dan tentu saja berbeda untuk industri lainnya. Setiap industri memiliki persyaratan khusus kualitas bahan bakar alternatif termasuk RDF yang akan digunakan dan oleh karena itu standar RDF akan membantu mengkategorikan persyaratan industri pemanfaat RDF.

c) Prospek Bisnis

Standar akan membantu untuk membuat perjanjian jangka panjang produsen dan pembeli RDF.

d) Pengembangan Pasar

Sertifikasi produk RDF akan membantu produsen RDF untuk memasarkan produk RDF dengan lebih baik dan akan meningkatkan kepercayaan pemanfaat dalam menggunakan RDF.

Saat ini, Indonesia telah memiliki SNI 8966:2021 Bahan Bakar Jumptan Padat untuk Pembangkit Listrik yang diinisiasi oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) dan Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai standar bahan bakar sejenis RDF untuk kegiatan *co-firing* dengan batubara di PLTU.

Adapun spesifikasi RDF untuk industri saat ini baru tersedia untuk industri semen yang dikembangkan oleh Kementerian Perindustrian dalam dokumen “Pedoman Spesifikasi Teknis RDF sebagai Alternatif Bahan Bakar di Industri Semen”.

Pada tahun 2023 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) menginisiasi pembentukan Tim Teknis penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI) RDF untuk industri.

BAB 3 IMPLEMENTASI RDF DI INDONESIA

KLHK memperkirakan timbunan sampah pada tahun 2020 sebesar 67,8 juta ton dan pada tahun 2025 akan mencapai 71,3 juta ton. Untuk meningkatkan kinerja pengelolaan sampah, Pemerintah Indonesia telah membuat komitmen yang dituangkan dalam Kebijakan dan Strategi Nasional (JAKSTRANAS) Pengelolaan Sampah. Tujuannya yaitu untuk mencapai 30% pengurangan sampah dan 70% penanganan sampah pada tahun 2025. Selain itu, Pemerintah Indonesia juga berkomitmen mengurangi sampah plastik di laut sebesar 70% pada tahun 2025.

Berdasarkan laporan tahun 2020, KLHK mencatat sebanyak 290 dari total 514 kabupaten dan kota di Indonesia, telah melakukan perbaikan tingkat pengelolaan sampah, mencapai hingga 54%, meliputi pengurangan sampah dan penanganan sampah. Merujuk kembali kepada target pengurangan dan penanganan sampah yang telah ditetapkan, masih terdapat celah yang perlu dipenuhi untuk mencapai target JAKSTRANAS.

3.1 Implementasi RDF dalam Program *Co-firing* di PLTU PLN

Dalam rangka mendorong pencapaian target bauran Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebesar 23% pada 2025, Pemerintah Indonesia menargetkan pemanfaatan biomassa termasuk RDF di tahun 2025, sebesar 8,4 juta ton. Pemanfaatan bahan bakar dari biomassa dan RDF untuk pembangkit listrik batubara (PLTU) dapat dilakukan tanpa perlu melakukan pembangunan pembangkit melalui implementasi *co-firing* di PLTU batubara.

Co-firing merupakan proses penambahan biomassa dan bahan bakar alternatif lainnya termasuk RDF sebagai bahan bakar pengganti parsial ke dalam *boiler* batubara. Bahan baku *co-firing* adalah biomassa termasuk sampah yang telah dilakukan *pre-treatment* sehingga memenuhi spesifikasi bahan bakar *boiler* PLTU. Di Indonesia, bahan bakar *co-firing* berbentuk pelet dikenal dengan Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP).

Saat ini anak perusahaan PLN yaitu PT Pembangkitan Jawa-Bali (PJB) dan PT PLN Indonesia Power (IP) sudah melakukan uji coba *co-firing* di 30 Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), berlokasi di Jawa dan luar Jawa dengan kapasitas terkecil pada PLTU di Tembilahan sebesar 2 x 7 MW sedangkan kapasitas terbesar di PLTU Paiton 9 sebesar 1 x 660 MW.

PT PJB melakukan uji coba *co-firing* sebesar 5% untuk pelet biomassa dan 1% untuk RDF sampah dengan 10 jenis biomassa berbeda, yaitu pelet kayu, cangkang sawit, *saw dust*, pelet organik, *wood chip* kayu lamtoro, *wood chip* kayu sagu, *wood chip* rabasan, *wood chip* kayu gamal, dan sekam padi. Sedangkan IP melakukan ujicoba *co-firing* dengan pelet RDF yang berasal dari sampah.

Uji coba *co-firing* dengan biomassa sebesar 5% menunjukkan tidak ada indikasi gangguan keandalan operasional pada mesin pembangkit. Menurut data PLN, terdapat 114 unit PLTU (total kapasitas sebesar 18.154 MW dan tersebar 52 lokasi) yang berpotensi menerapkan skema *co-firing*. PLN telah menerbitkan Peraturan Direksi PLN No. 01 Tahun 2020 tentang *co-firing* PLTU batubara yang berisi antara lain mekanisme pelaksanaan, harga pembelian bahan bakar biomassa, pengadaan biomassa, serta perhitungan energi listrik (kWh) hasil produksi dan pelaksanaan *co-firing* di PLTU batubara milik anak perusahaan PLN. Program *co-firing biomassa* ditargetkan akan menggunakan biomassa sebesar

10,2 juta ton pada 2025. PT PLN memperkirakan setiap 1 ton pelet sampah yang digunakan untuk *co-firing* dapat menghindari produksi 500 kg CO₂.

Perlu dipahami bahwa dari keseluruhan 30 fasilitas PLTU yang diuji coba menggunakan mekanisme *co-firing* pada tahun 2020 hingga 2021, hanya tiga fasilitas PLTU yang melakukan uji coba menggunakan RDF dari sampah rumah tangga yaitu PLTU Jeranjang NTB (2 x 25 MW), PLTU Lontar Banten (3 x 315 MW), dan PLTU Ropa - Ende NTT (2x7 MW). Adapun PLTU lainnya menggunakan sampah biomassa dalam uji coba *co-firing*. PLTU Jeranjang menggunakan RDF dari sampah kebun dan sisa pohon yang ditebang, sedangkan uji coba PLTU Lontar menggunakan RDF dari fasilitas TPST Cilacap dan sampah dari Saguling.

3.1.1 Fasilitas Pengolahan Sampah Menjadi RDF TOSS Gema Santi di Klungkung, Bali

Pemerintah Kabupaten Klungkung melalui Koperasi Gema Nadi Lestari bekerja sama dengan DPD APSI Bali-Nusra melalui *Bali Waste Cycle* (BWC) membentuk TOSS *Center* Gema Santi di Karang Dadi, Desa Kusamba, Kecamatan Dawan, pada tahun 2017 di lahan seluas 1,9 ha.

TOSS *Center* mengolah sampah yang telah dipilah pada tingkat rumah tangga menjadi sampah organik dan non-organik. Rata-rata sampah yang masuk di TOSS *Center* dan terkelola sekitar 19 truk atau setara dengan 38 ton per hari. Sampah anorganik dikumpulkan kemudian dikirimkan kepada Asosiasi Pengusaha Sampah Indonesia (APSI) untuk didaur ulang.

Sampah organik dikeringkan melalui proses fermentasi aerobik untuk mereduksi kelembaban sampah menggunakan kotak bambu berukuran 2x1 meter dengan penambahan *bio-activator* untuk mempercepat proses pembusukan selama 7-10 hari. Produk fermentasi sampah berupa RDF kemudian dicetak menjadi pelet berukuran 10 mm yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar kompor. Sebagai pembanding, RDF untuk kebutuhan *co-firing* pada PLTU berbentuk pelet dengan ukuran 12 mm.

Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TOSS *Center* dibangun dan dioperasikan oleh pihak ketiga yaitu PT Citra Terang Bumi Lestari. Peralatan pengolah sampah yang dioperasikan serupa dengan peralatan pengolah sampah di TPA Jambon, Sidoarjo, Jawa Timur.

Produsen makanan minuman dalam kemasan Le Minerale memberikan bantuan hibah sarana prasarana di TOSS *Center* berupa jembatan timbang, mesin *conveyor*, mesin *press*, dan timbangan digital untuk mendukung inovasi TOSS *Center* dalam mengolah sampah menjadi RDF. Bahan baku RDF di TOSS *Center* terdiri dari 95% organik dengan tambahan 2% plastik cacah kering dan limbah sisa lainnya. Terdapat 20-30% sampah yang menjadi residu dari pengolahan sampah di fasilitas tersebut.



Gambar 3.1 Proses pemilahan sampah di TOSS Center

Sumber: Foto ANTARA/HO-Humas Pemkab Klungkung, 2023

Program TOSS pada awalnya merupakan program kerja sama Pemerintah Kabupaten Klungkung dengan STT PLN dan PT Indonesia Power. Salah satu desa di Klungkung yang juga menerapkan metode TOSS adalah Desa Gunaksa. Produk fasilitas TOSS di Desa Gunaksa berupa RDF pelet dengan kalori 3.300-4.500 kcal/kg. RDF bentuk pelet dari hasil olahan sampah tersebut direncanakan akan digunakan sebagai campuran bahan baku PLTU Jeranjang di Lombok.

Pelet organik tersebut juga dimanfaatkan oleh pelaku usaha kecil di Desa Gunaksa, khususnya yang menjual makanan. Dengan menggunakan sistem barter, para pelaku usaha ini membawa sampah ke TOSS Gunaksa untuk ditukar dengan 1 kilogram pelet.

3.1.2 Fasilitas Pengolahan Sampah Menjadi RDF TPA Jabon, Sidoarjo

Untuk mengelola sampah di TPA Jabon, Pemerintah Kabupaten Sidoarjo menggandeng pihak swasta yakni PT Cahaya Terang Bumi Lestari (PT CTBL). Selain sampah di TPA Jabon, PT CTBL juga mengolah limbah di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Banjarnendo, Sidoarjo. PT CTBL mengimplementasikan teknologi pengolahan sampah menjadi RDF. Saat ini, produksi RDF di TPA Jabon mencapai 15 ton per hari sedangkan di TPST Banjarnendo sebesar 7 ton per hari dari total pengolahan 75 ton sampah rumah tangga.

Pada tahun 2022, Pemerintah Kabupaten Sidoarjo menjalin kerjasama dengan PT Pembangkit Jawa Bali (PJB) di bidang penelitian dan pengembangan, sekaligus sebagai *off-taker* RDF. Sebagai tindak lanjut kerjasama ini, RDF organik yang diproduksi di TPA Jabon Sidoarjo dikirim ke PLTU Paiton, Probolinggo dan PLTU Tanjung Awar-Awar, Tuban, Jawa Timur. RDF yang dikirimkan ke PLTU Paiton dan PLTU Tanjung Awar-Awar adalah RDF dengan kandungan organik > 90% berupa cacahan dengan ukuran kurang dari 4 milimeter. Potensi kebutuhan RDF di PLTU Tanjung Awar-awar mencapai 14.016 ton per tahun, sedangkan PLTU Paiton 1 dan 2 sekitar 11.913 ton per tahun.

Fasilitas RDF di TPA Jabon juga memproduksi RDF dengan kandungan sampah anorganik lebih dari 70 % berbentuk cacahan berukuran 50 mm yang akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar *boiler* PT Kemasan Ciptatama Sempurna (KCS), Pasuruan, Jawa Timur.

Produk fasilitas lainnya yakni RDF berbentuk briket berdiameter 50 mm dimanfaatkan di pabrik di Kediri dan Ngawi, Jawa Timur, serta RDF pelet berdiameter 10 mm dikirim sebagai bahan bakar *boiler* PT Chandra Asri diCilegon, Banten.



Gambar 3.2 Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPA Jabon

Sumber: Pemkab Sidoarjo, foto dokumentasi: Riyan Setiawan

3.2 Implementasi RDF sebagai bahan bakar alternatif di Industri Semen

3.2.1 Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di Cilacap

Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di Cilacap diresmikan pada tanggal 21 Juli 2020. Dibangun di TPA Jeruk Legi yang terletak di Desa Tritih Lor, Kecamatan Jeruklegi, kabupaten Cilacap. Fasilitas ini memiliki kapasitas olah 120 ton sampah/hari dan menghasilkan sekitar 50 ton produk RDF yang dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif pabrik semen PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk. (PT SBI). Biaya investasi fasilitas diperkirakan sebesar 81,2 Milyar rupiah.

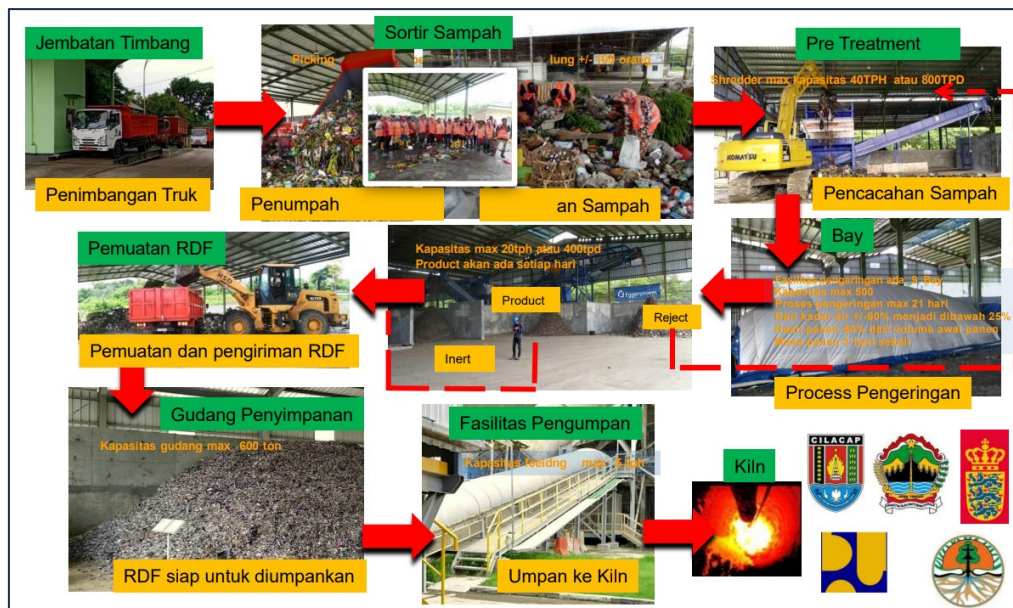
Fasilitas RDF Cilacap dikelola oleh PT SBI bekerjasama dengan Pemerintah Kabupaten Cilacap melalui Perjanjian Kerja Sama (PKS) yang ditandatangani Kepala Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Cilacap dan Direktur PT SBI pada tanggal 19 Juni 2020. Dari kapasitas awal sebesar 120 ton/hari, naik menjadi 140 ton/hari (tahun pertama), dan 150 ton/hari (3 bulan pertama tahun kedua). Fasilitas ini akan ditingkatkan kapasitasnya secara bertahap hingga mencapai 200 ton per hari untuk mengolah sampah yang dihasilkan oleh wilayah di sekitar Kabupaten Cilacap, seperti Kroya, Sleman, dan area lainnya.



Gambar 3.3 Fasilitas RDF Plant Cilacap

Sumber: PUPR, 2021

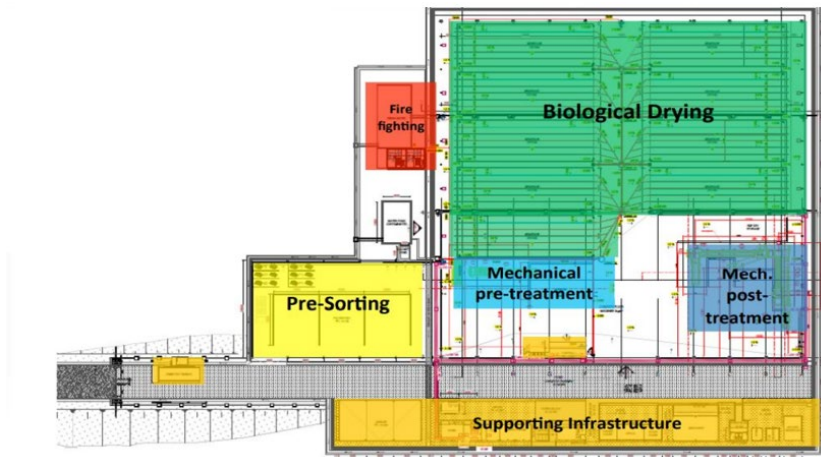
Alur proses pengolahan sampah menjadi RDF di Cilacap digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.4 Alur proses fasilitas RDF Plant Cilacap

Sumber: SBI, 2020

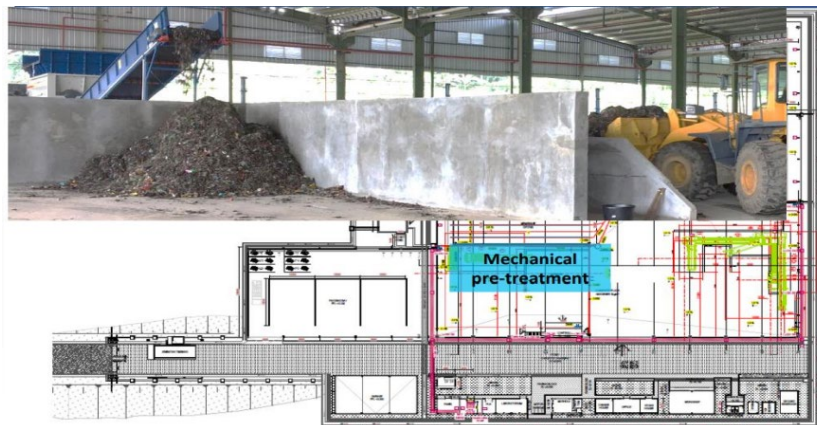
Luas area fasilitas pengolahan sebesar 1,3 ha dari total area yang disiapkan sebesar 3 ha. Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di Cilacap terdiri dari (1) Area penuangan sampah dan pemilahan oleh pemulung (*picking bay* dan *pre-sorting*), (2) Alat pencacah (*shredder*) sebanyak 1 unit, (3) *Drying bay* yang dilengkapi dengan membran *semi-permeable* sebanyak 9 unit, (3) Mesin penggulung (*winder*) untuk membuka dan menutup membran, (4) alat pengayak (*screener*) sebanyak 1 unit.



Gambar 3.5 Layout fasilitas RDF Plant Cilacap

Sumber: SBI, 2020

Alat pencacah sampah (*shredder*) di area pengolahan awal (*pre-treatment*) memiliki kapasitas olah 40 ton sampah per jam.



Gambar 3.6 Peralatan *shredder* di fasilitas RDF Plant Cilacap

Sumber: SBI, 2020

Proses pengeringan sampah di fasilitas ini menggunakan metode *bio-drying* terdiri dari 9 (sembilan) buah *bay* dilengkapi dengan sistem aerasi dari *blower* untuk menghembuskan udara ke tumpukan sampah di dalam membran. Kapasitas 1 *bay* maksimum sebesar 500 ton sampah.

Setiap tujuh hari dilakukan proses *turning* atau pembalikan sampah pada tumpukan. Setelah 21 hari dan sampah mengalami 3 kali *turning*, maka RDF sudah siap dipanen.



Gambar 3.7 *Bio-drying* di fasilitas *RDF Plant* Cilacap

Sumber: SBI, 2020

Pada area *Post Treatment* terdapat mesin pengayak (*screener*) dengan kapasitas 20 ton per jam. Keluaran dari *screener* terdiri dari *inert* (ukuran sampah lebih kecil dari 2 cm), produk RDF (ukuran sampah 2-5 cm), dan *oversize product* (ukuran sampah lebih besar dari 5 cm).



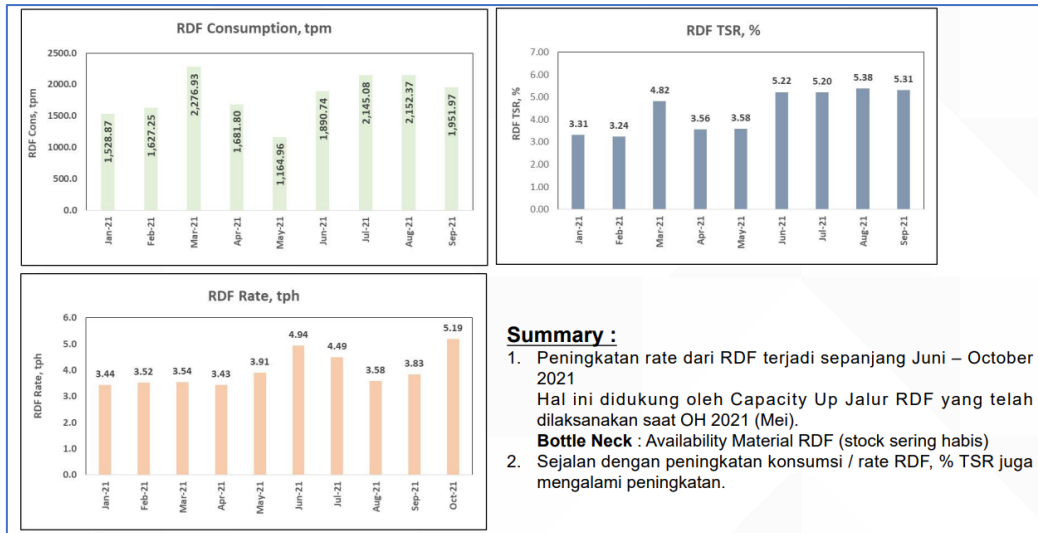
Gambar 3.8 Mesin *screen* di fasilitas *RDF Plant* Cilacap

Sumber: SBI, 2020

Penyediaan alat berat dan semua peralatan pengolahan diperlukan untuk operasional fasilitas secara penuh setiap hari, selama satu tahun. Biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp. 251.076, - per ton sampah ditanggung bersama antara DLH Kabupaten Cilacap dengan PT SBI sebagai pengelola dan pemanfaat RDF.

Produk RDF pada fasilitas ini berbentuk *fluff* dan memiliki nilai kalori sebesar 3.000 – 3.300 kcal/kg, namun dapat mencapai 4.000 kcal/kg jika sampah disimpan lebih lama. Kadar air RDF rata-rata di bawah 25% dengan kandungan *chlorine* berkisar antara 0,2 – 0,4%. Sepanjang pemakaian RDF sebagai bahan bakar di sistem kiln, tidak ada pengaruh negatif terhadap kualitas produk klinker di pabrik semen PT SBI. Hasil pemantauan operator pabrik semen PT SBI menyatakan bahwa emisi masih memenuhi ambang batas yang ditetapkan Pemerintah Indonesia untuk pabrik semen.

Saat ini, volume produk transfer RDF ke pabrik SBI mencapai 70 hingga 80 ton per hari atau meningkat dari produksi RDF di awal operasi fasilitas sebesar 50 ton per hari.



Gambar 3.9 Konsumsi RDF di Pabrik Semen PT SBI Cilacap

Sumber: SBI, 2022

Pada tahun 2020, volume penerimaan sampah di fasilitas RDF Cilacap sudah mencapai 160 ton per hari. Pada tahun 2022 terdapat inisiatif untuk meningkatkan volume sampah dengan mengirimkan sampah di sekitar Kabupaten Cilacap, seperti Kroya, serta menambang sampah dari TPA Jeruk Legi untuk memenuhi target volume penerimaan sampah sebesar 200 ton per hari.

Penyediaan alat berat dan ketersediaan peralatan pengolahan merupakan hal penting untuk operasional karena fasilitas ini beroperasi penuh dengan pengiriman sampah setiap hari tanpa ada hari libur.

Tabel 3.1 Rencana peningkatan kapasitas pengolahan sampah di Fasilitas RDF Cilacap

NO	SUMBER SAMPAH	RENCANA PENINGKATAN KAPASITAS 5% /TAHUN, TON/ HARI						NILAI PENINGKATAN
		2020	2021	2022	2023	2024	2025	
1	Fresh Waste KOTA CILACAP	100	105	110	116	122	128	5%
2	Jeruk Legi Landfill Mining	20	20	20	20	15	15	5%
3	Fresh Waste EKS DISTRIK KROYA	-	21	22	23	24	26	5%
4	Fresh Waste EKS DISTRIK SIDAREJA	-	-	16	17	18	19	5%
5	Fresh Waste EKS DISTRIK MAJENANG	-	-	-	16	17	18	5%
	JUMLAH	120	146	168	192	195	204	

Sumber: SBI, 2022

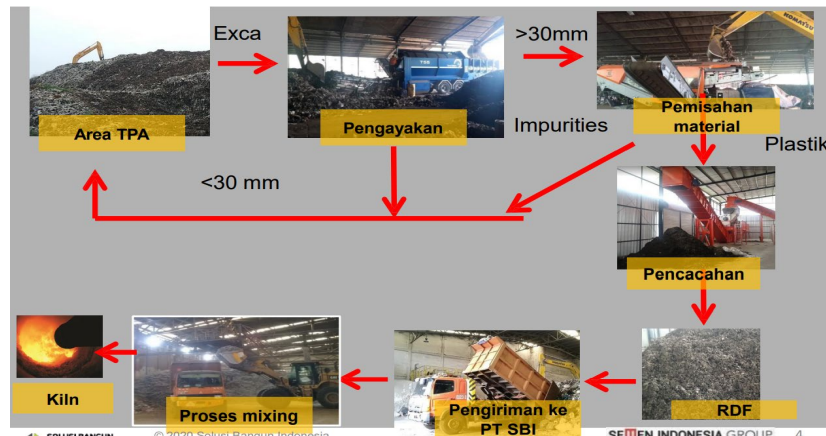
3.2.2 Fasilitas *Pilot* Pengolahan Sampah *Landfill Mining* menjadi RDF di Bantar Gebang

Pemerintah DKI Jakarta melalui Unit Pengelolaan Teknis Dinas (UPTD) Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Bantar Gebang melakukan optimalisasi untuk memperpanjang masa layanan TPST Bantar Gebang dengan kegiatan *pilot project* pengolahan sampah *landfill mining* (sampah hasil galian dari sampah yang tertimbun di TPST) menjadi RDF dengan target pengolahan awal sebesar ±100 ton/hari.

Proyek dimulai sejak 1 Oktober 2020 melalui kerjasama empat pihak yaitu Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI Jakarta, PT SBI, PT Indocement, dan PT Unilever. Jumlah sampah yang sudah digali dari Zona IV dan Zona V TPST Bantargebang pada tahun 2020 hingga 2021 sebesar ± 17.760 ton.

Produk RDF hasil pengolahan *landfill mining* sampah Bantar Gebang direncanakan akan dimanfaatkan oleh dua pabrik semen terdekat, yaitu PT SBI Pabrik Narogong dan PT Indocement Pabrik Citeureup. Uji coba pemanfaatan RDF yang telah dilakukan oleh PT Indocement sebanyak ± 600 ton RDF. Adapun pengiriman produk RDF sebesar 1.000 ton/bulan ke PT SBI dilakukan dengan skema kerjasama dengan PT Unilever. Hingga saat ini RDF yang telah dikirimkan ke PT SBI sebanyak 4.580 ton.

RDF produk fasilitas ini memiliki nilai kalor 3.750 kcal/kg (*Gross*) atau 3.403 kcal/kg (*Nett*), kadar air 9,95%, total *sulphur* 0,49%, kadar TiO₂ 1,35%, dan kadar *Chlorin* 0,47%.

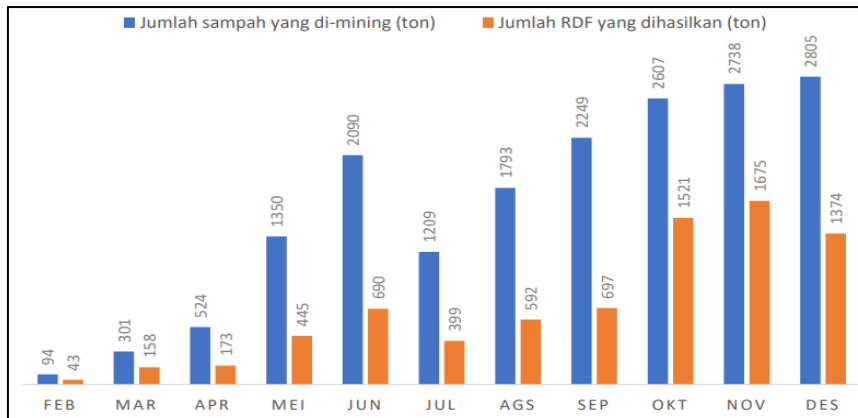


Gambar 3.10 Alur proses pengolahan sampah *landfill mining* menjadi RDF di TPST Bantar Gebang
 Sumber: DLH DKI Jakarta, 2021



Gambar 3.11 Peralatan pengolahan sampah *landfill mining* menjadi RDF
 Sumber: DLH DKI Jakarta, 2021

Gambar berikut ini menunjukkan jumlah sampah dan jumlah RDF yang dihasilkan pada fasilitas *Pilot Project* TPST Bantar Gebang



Gambar 3.12 Jumlah sampah dan produk RDF *Pilot* TPST Bantar Gebang
 Sumber: DLH DKI Jakarta, 2021



Gambar 3.13 Produk RDF pengolahan sampah *landfill mining pilot* TPST Bantar Gebang
 Sumber: DLH DKI Jakarta, 2021

3.2.3 Fasilitas Pilot Pengolahan Sampah Menjadi RDF oleh PT Semen Indonesia di Gresik, Jawa Timur
 TPA Gresik diperkirakan memiliki deposit sampah sebesar 210.000 ton, dengan jumlah sampah masuk setiap hari ke TPA Ngipik sebesar 225 ton. PT Semen Indonesia pada tahun 2014 membangun fasilitas Pilot Unit Pengolah Sampah (UPS) yang diberi nama *Waste to Zero Project* (WTZP) dan mulai beroperasi pada tahun 2015 dengan kapasitas 6,6 ton per jam. Produk fasilitas WTZ terdiri dari RDF sebanyak 60% yang akan dikirim ke pabrik Semen Indonesia di Tuban, 30% menjadi pupuk, dan 10% berupa *inert* (Semen Indonesia, 2016). Namun demikian saat ini fasilitas tersebut belum bisa beroperasi secara optimal.

Produk samping berupa sampah organik dapat dijual kepada perusahaan rekanan PT Semen Indonesia yaitu PT Petrokimia dalam memproduksi pupuk petroganik yang melakukan produksi di Kabupaten Tuban.



Gambar 3.14 Alur proses produksi RDF di *Pilot Project Ngipik, Gresik*
 Sumber: Semen Indonesia, 2019

3.2.4 Fasilitas Pilot *Bio-drying* Pengolahan Sampah menjadi RDF Indocement Plant Citeureup

PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. (ITP) Plant Citeureup pada tahun 2015 membuat proyek pilot pengolahan sampah menjadi RDF dengan metode *bio-drying*. Sampah domestik berasal dari sampah internal Indocement sebesar 60 ton/bulan dan sampah dari desa sekitar sebesar 160 ton/bulan. RDF yang dihasilkan memiliki nilai kalor 3750 kcal/kg, kandungan air sekitar 19%, kadar sulfur 0,1%, dan kadar *chlor* sebesar 0,42 kcal/kg.



Gambar 3.15 Alur proses produksi RDF di *Pilot Project Citeureup*
 Sumber: Indocement, 2017

Selain itu, PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk. (ITP) Plant Palimanan Cirebon sejak tahun 2008 bekerjasama dengan Badan Usaha Milik Desa (BUMDes) Palimanan Barat mengelola sampah rumah

tangga dari desa sekitar di Kecamatan Gempol menghasilkan RDF serta kompos yang dimanfaatkan oleh Indocement untuk bahan bakar alternatif dan pupuk tanaman.

Pengolahan sampah di Indocement diperkirakan mampu mendukung upaya mengatasi sampah di Kabupaten Cirebon sekitar 3-4%. RDF yang dihasilkan dari fasilitas ini mencapai 4 ton per hari, sedangkan pupuk kompos sekitar 2 ton per hari.

Proses Produksi *fluff* RDF di Palimanan Cirebon terdiri dari 3 tahap utama yaitu pemisahan manual, pengolahan sekunder, dan pengolahan tersier. Sampah dipisahkan secara manual ke beberapa kelompok seperti: sampah organik, kayu, dan sampah lainnya. Komponen sampah lainnya seperti bahan berbahaya beracun, kaca, kaleng, dan logam juga dipisahkan secara manual. Sampah organik diolah lebih lanjut menjadi kompos.

Pada pengolahan sekunder, sampah anorganik kemudian dicacah hingga berukuran 80 mm. Proses pencacahan dilakukan untuk mendapatkan produk berukuran 25 mm. Pengolahan pada tahap ini melibatkan beberapa mesin seperti *conveyor*, *screen 1*, dan *crusher*. Keluaran dari tahapan ini adalah sampah padat yang mudah terbakar berukuran ± 30 mm.

Unit pemrosesan akhir (*tersier*) meliputi pencacahan dan penghancuran untuk mendapatkan RDF dengan ukuran $\pm 5-10$ mm. Tahapan ini melibatkan beberapa mesin seperti *shredder*, *screen 2*, dan *crusher*.



Gambar 3.16 Peralatan produksi RDF di Pabrik Indocement Palimanan Cirebon

Sumber: Indocement, 2019

3.2.5 Fasilitas Pilot *Bio-drying* di PT SBI Pabrik Narogong

PT SBI mengembangkan uji coba teknologi *bio-drying* sebagai teknologi yang dipandang efektif untuk mengurangi kadar air sampah. Uji coba dilakukan pada tahun 2016 - 2017 sebagai dasar perancangan fasilitas pengolahan RDF di Cilacap. Kapasitas *bay* adalah 2 x 144 ton per bulan. Sumber sampah berasal dari area Jonggol Kabupaten Bogor di sekitar Pabrik Narogong. Proyek ini merupakan kerja sama antara Pemerintah Kabupaten Bogor sebagai pemasok sampah dan PT SBI.

Unit yang dinamakan the Geotainer ini memiliki aerator yang berfungsi meniup atau menyedot udara ke dalam tumpukan sampah. Unit ini dikontrol menggunakan sistem terkomputerisasi yang dapat membaca seluruh kondisi (temperatur, kelembaban, dan curah hujan), dan kadar oksigen di dalam tumpukan sampah.



Gambar 3.17 Geotainer sebagai *pilot project* SBI

Sumber: SBI, 2022

3.3 Implementasi Pembangunan Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST

3.3.1 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF TPST Samtaku, Jimbaran

TPST Samtaku di Kuta Selatan dibangun di atas lahan seluas 5000 m² melalui kerja sama Pemerintah Kabupaten Badung dengan PT. Danone-AQUA dan PT. Reciki Mantap Jaya. TPST Samtaku melayani 6 (enam) desa di Kabupaten Badung, yaitu Desa Jimbaran, Kedonganan, Kelan, Bualu, Tanjung Benoa, dan Kutuh.

Fasilitas ini dirancang dengan konsep ekonomi sirkular dan *zero waste to landfill* untuk mengelola 120 ton sampah per hari atau 40% total sampah Kabupaten Badung. Saat kajian ini dilaksanakan, TPST Samtaku baru mampu mengelola 70 ton sampah per hari. Sampah yang tiba di fasilitas akan dipilah oleh 20 petugas. Sampah organik diolah menjadi kompos dan sebagian diproses bersama residu menghasilkan RDF.

Biaya investasi fasilitas ini sebesar 35 Miliar, sedangkan biaya operasi dan pemeliharaan sebesar Rp 4.752.384.150 per tahun. Biaya Layanan Pengolahan Sampah (BLPS) yang diberikan Pemerintah sebesar Rp. 100.000 per ton sampah yang diolah kepada PT Reciki Mantap Jaya selaku pengelola. Produk dari fasilitas ini direncanakan berupa kompos 40 ton/hari plastik, kertas (daur ulang) 15 ton/hari, dan RDF 5 ton/hari, dan residu pengolahan sebesar 10 ton/hari.

Produk *recyclable* yang sudah dipadatkan (*press*) diangkut oleh Bali Waste Cycle untuk dipilah lebih lanjut. Sementara untuk botol PET disalurkan kepada Veolia, mitra *supplier* PET Aqua. PT Reciki Mantap Jaya mempertimbangkan untuk menjual pelet RDF kepada pelaku usaha lokal untuk digunakan sebagai bahan bakar dalam skala kecil *boiler* industri, seperti kontraktor *laundry*, pembuat tahu dan sebagainya. Pemanfaat RDF dari fasilitas ini terutama berlokasi di Denpasar dan sisanya dikirim ke pabrik di Pulau Jawa.



Gambar 3.18 TPST Samtaku Jimbaran

Sumber: Kemenko Marves, foto dokumentasi PT Reciki, 2022



Gambar 3.19 Pelet RDF produk TPST Samtaku Jimbaran

Sumber: Kemenko Marves, foto dokumentasi PT Reciki 2022

3.3.2 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST Kertalangu Kota Denpasar

Pemerintah Kota Denpasar bekerja sama dengan PT Bali CMPP untuk mengolah sampah menjadi RDF dengan kapasitas total 1020 ton per hari sampah dibangun di 3 lokasi yaitu: (1) Tahura dengan kapasitas pengolahan 450 ton per hari sampah tercampur dibangun di lahan seluas 0,6 Ha, (2) Kesiman Kertalangu dengan kapasitas pengolahan 450 ton per hari sampah tercampur dibangun di atas lahan seluas 1,4 Ha, serta (3) Padang Sambian dengan kapasitas pengolahan 120 ton sampah taman.

Perjanjian Kerjasama antara Pemerintah Kota Denpasar – PT Bali CMPP berdasarkan dokumen kerjasama No 027/1705/DLHK atau 013/BCMPP-LGL/V/2023 dengan lama waktu perjanjian kerjasama 20 Tahun. Investasi sebesar Rp 129 milyar untuk bangunan fisik merupakan dukungan pendanaan APBN Ditjen. Cipta Karya Kementerian PUPR, peralatan disediakan oleh PT Bali CMPP, sedangkan Pemkot Denpasar akan memberikan pembayaran *tipping fee* pengolahan sampah sebesar Rp. 100.000 per ton sampah kepada PT Bali CMPP selaku pengelola. Fasilitas TPST Kertalangu diresmikan oleh Presiden Republik Indonesia pada tanggal 13 Maret 2023.

Dalam kontrak, *tipping fee* akan dibayarkan oleh Pemerintah Kota Denpasar jika 60 persen dari kapasitas normal TPST dapat diolah. TPST Kesiman Kertalangu dan Padangsambian Kaja direncanakan beroperasi normal pada tanggal 1 Desember 2023, adapun TPST Tahura 1 masih dalam proses pengadaan alat.

PT SBI dan SIG menjalin kemitraan dengan PT Bali CMPP untuk menjadi *off-taker* RDF sebesar 80 ton per hari melalui perjanjian kerja sama pada tanggal 19 September 2023 di Jakarta dengan rencana pengiriman RDF ke dua pabrik semen di Tuban yaitu Pabrik SBI Tuban dan Pabrik SIG Tuban. Bentuk

RDF yang dikirimkan kepada kedua pabrik semen adalah *fluff*. Perusahaan lainnya yang diidentifikasi telah bekerjasama dengan PT Bali CMPP sebagai penerima RDF adalah PT CNI yang akan menerima RDF dalam bentuk briket. Kualitas RDF yang ditargetkan pada fasilitas ini antara lain nilai kalor RDF sebesar 3.400 – 3.800 kcal/kg, kadar air maksimal 10% dan kadar abu maksimal 15%.

Pemerintah Provinsi Bali menargetkan TPST Kertalangu mampu mengolah sampah 270 ton sampah per hari pada Desember 2023 dan bertahap mencapai 450 ton sampah per hari tahun 2024. TPST Tahura ditargetkan mengolah sampah sebesar 112 ton per hari pada bulan Maret 2024, sedangkan TPST Padang Sambian ditargetkan pada awal operasi mencapai kapasitas 40 ton sampah per hari.



Gambar 3.20 Fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPST Kertalangu

Sumber: foto dokumentasi PT Bali CMPP, 2023

Pada bulan Januari 2024, fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPST Kertalangu belum dapat beroperasi optimal mencapai kapasitas minimal yang ditargetkan Pemerintah Kota Denpasar sehingga perjanjian kerjasama antara PT Bali CMPP dengan Pemkot Denpasar akan dievaluasi kembali.

3.3.3 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST Samtaku Lamongan

Pada tanggal 24 November 2020 Danone-AQUA meresmikan TPST Samtaku Lamongan. Fasilitas ini direncanakan mengelola 60 ton sampah per hari. TPST yang diinisiasi oleh PT. Danone bersama Pemkab Lamongan dan PT Reciki Solusi Indonesia saat ini telah mampu mengolah sampah sebesar 40 ton per hari, dan mengumpulkan sampah plastik kurang lebih 4000 ton sejak tahun 2020.

Metode pengolahan fasilitas ini sama dengan TPST di Jimbaran. Pengolahan TPST ini disebut efektif mengurangi volume sampah yang dikirim ke TPA. Sisa sampah yang dikirim ke TPA sebagian besar merupakan sampah organik yang dapat diolah lebih lanjut menjadi kompos.



Gambar 3.21 Fasilitas TPST Samtaku Lamongan

Sumber: dokumentasi PT Reciki, 2021

3.3.4 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPST Bantar Gebang Bekasi

Pada tahun 2021 Pemerintah DKI Jakarta melalui Dinas Lingkungan Hidup (DLH) DKI melakukan pelelangan pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF dengan kapasitas 1.000 ton per hari sampah segar (*fresh waste*) dan 1.000 ton per hari sampah baru (*landfill mining waste*). Target produk sebesar 700 ton per hari RDF berbentuk *fluff* dengan nilai kalor di atas 3.000 kcal/kg, kadar air maksimal 20%, dan kadar *chlorin* maksimal 1%.

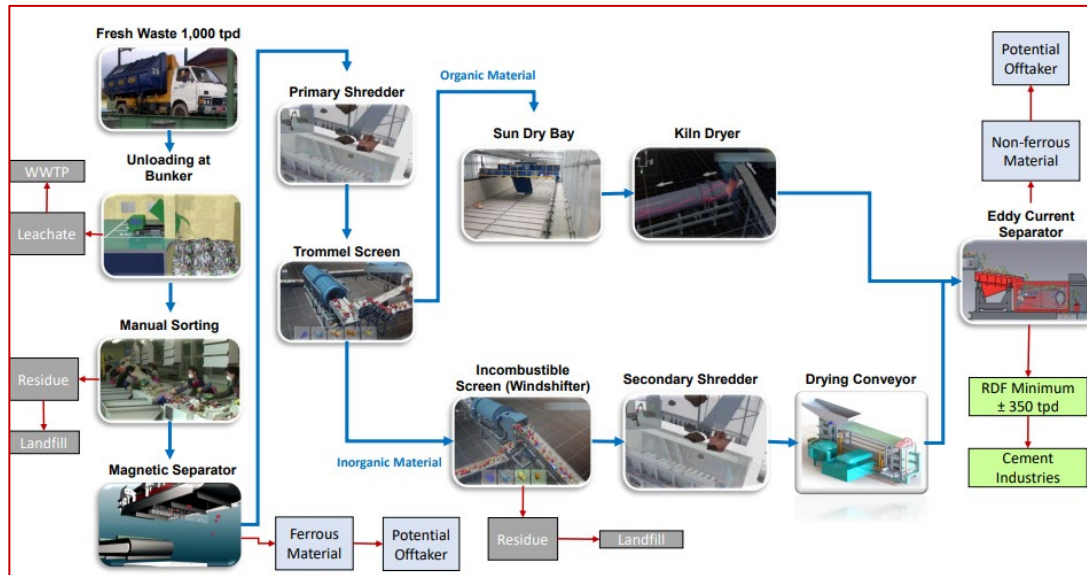
Spesifikasi RDF lainnya mengikuti kebutuhan bahan bakar alternatif untuk industri semen. Calon *off-taker* yang sudah diidentifikasi untuk memanfaatkan produk RDF yang dihasilkan fasilitas ini adalah dua pabrik semen di Jawa Barat yaitu PT Indocement dan PT SBI.

Indocement direncanakan akan menerima RDF sebesar minimal 550 ton per hari sedangkan SBI direncanakan menerima RDF hingga 100 ton per hari DLH DKI sedang mengidentifikasi *off-taker* RDF potensial lainnya.

Fasilitas ini dibangun menggunakan anggaran sebesar Rp 1,1 triliun berasal dari dana pinjaman daerah yang mendukung Pemulihan Ekonomi Nasional (PEN) sebesar Rp 456,3 miliar dan pendanaan APBD tahun 2022 sebesar Rp 613,9 miliar.

Karena lahan yang disediakan untuk fasilitas pengolahan hanya 1,2 ha, maka teknologi pengolahan sampah menjadi RDF yang dipilih adalah *Mechanical Treatment (MT)* dengan metode pengeringan *thermal mechanical* menggunakan *rotary dryer*.

Konstruksi dimulai pada bulan Februari tahun 2022 dan berlangsung selama kurang lebih 1,5 tahun. Adapun *commissioning* dilakukan pada semester dua tahun 2023. Kontraktor pekerjaan EPC adalah PT Adhi Karya (Persero), Tbk. dan PT Jaya Konstruksi Manggala Pratama, Tbk.



Gambar 3.22 Diagram alir pengolahan sampah segar menjadi RDF TPST Bantar Gebang
 Sumber: DLH DKI Jakarta, 2022. Presentasi DLH DKI pada acara Indonesia-Korea Green Up Seminar on Integrated Municipal Solid Waste Management to Support Circular Economy



Gambar 3.23 Fasilitas pabrik RDF di TPST Bantar Gebang
 Sumber: DLH DKI Jakarta, 2022. Presentasi DLH DKI pada acara Indonesia-Korea Green Up Seminar on Integrated Municipal Solid Waste Management to Support Circular Economy

Dinas LH DKI Jakarta menyebutkan bahwa RDF di Bantar Gebang berpotensi menghasilkan pendapatan untuk Pemprov DKI Jakarta sebesar Rp 59,4 miliar per tahun dengan target produksi 700 ton sampah per hari (Sumber: DLH DKI Jakarta, 2022).

3.3.5 Fasilitas Pengolahan Sampah menjadi RDF di TPPAS Lulut Nambo Jawa Barat

Pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di Tempat Pengolahan dan Pemrosesan Akhir Sampah (TPPAS) Lulut Nambo diinisiasi oleh Pemerintah Provinsi Jawa Barat dengan skema Kerja sama

Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) *Build Operate Transfer* (BOT) dengan teknologi *Mechanical Biological Treatment* (MBT). Area layanan TPPAS mencakup Kota Bogor, Kabupaten Bogor, Kota Depok, dan Kota Tangsel. Nilai investasi fasilitas diperkirakan sekitar 600 Milyar Rupiah. Pembiayaan direncanakan bersumber dari sejumlah mitra pendanaan, seperti PT Indonesia Infrastructure Finance (IIF), PT Sarana Multi Infrastruktur (SMI), dan bank BJB.

Pada tahun 2015 PT Jabar Bersih Lestari (JBL) ditunjuk sebagai operator fasilitas pengolahan sampah dengan kapasitas 1.800 ton per hari untuk menghasilkan RDF sekitar 500 ton per hari dengan *off-taker* PT Indocement. PT JBL merupakan perusahaan kerja sama antara Konsorsium Korea pemenang lelang dengan PT Jasa Sarana sebagai Badan Usaha Milik Daerah (BUMD) Jabar. Namun demikian, proyek terhenti selama lebih dari lima tahun akibat permasalahan pembiayaan.

Pada tahun 2021, Proyek TPPAS Lulut Nambo kembali dilanjutkan oleh perusahaan asal Jerman Euwelle Environmental Technology GmbH dengan nilai investasi mencapai 133,3 juta USD. Hasil akhir dari pengelolaan sampah berupa RDF, bulir pupuk, dan biogas. Produk RDF akan dijual sebagai bahan bakar ramah lingkungan untuk pabrik semen seperti Indocement dan bulir pupuk dapat dijual ke PT Pupuk Indonesia atau masyarakat sesuai harga pasar.

Sumber pendapatan fasilitas ini direncanakan berasal dari *tipping fee* yang akan dibayarkan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Barat, hasil penjualan produk RDF, dan hasil pengolahan lainnya. Besaran *tipping fee* yang akan dibebankan kepada kabupaten/kota sebesar Rp 125.000 per ton sampah yang diolah.

Konstruksi TPPAS Nambo telah dimulai pada tahun 2021 dan fasilitas diharapkan dapat beroperasi di tahun 2022, namun hingga kajian ini disusun, belum ada perkembangan lebih lanjut.



Gambar 3.24 Lokasi pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPPAS Lulut Nambo

Sumber: Dokumentasi Pemerintah Provinsi Jawa Barat, 2019

3.3.6 Rencana Pembangunan Fasilitas RDF di Kelurahan Rorotan, Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta
Menyusul Pembangunan fasilitas RDF di Bantar Gebang, Pemerintah Provinsi DKI Jakarta menyiapkan anggaran sebesar Rp. 1,3 Trilyun yang bersumber dari pinjaman kepada PT Sarana Multi Infrastruktur (PT. SMI) sebesar 1 Trilyun dan sisanya dari APBD untuk membangun fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF dengan kapasitas 2.500 ton per hari. Fasilitas akan dibangun pada lahan seluas 7,8 Ha berlokasi di Kelurahan Rorotan, Kecamatan Cilincing, Kota Jakarta Utara. Fasilitas pengolahan sampah tersebut direncanakan akan menghasilkan sekitar 800 ton RDF per hari.

Pelelangan dilakukan pada awal Desember 2023, dan pada bulan Maret 2024 direncanakan telah terpilih kontraktor yang akan membangun fasilitas tersebut. Proses konstruksi ditargetkan selesai selama 1 tahun, sehingga proses serah terima pekerjaan pertama dapat dilakukan pada akhir Desember 2024. Pada awal tahun 2025, Fasilitas RDF Rorotan direncanakan sudah dapat beroperasi untuk melayani timbulan sampah dari 16 (enam belas) kecamatan terpilih, yang terdiri atas beberapa kecamatan dari wilayah Jakarta Utara, Jakarta Timur, dan Jakarta Pusat.



Gambar 3.25 Lokasi pembangunan Fasilitas RDF Kelurahan Rorotan, Kecamatan Cilincing, Jakarta Utara

3.4 Dukungan Pembangunan Fasilitas RDF oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dengan Dukungan Kementerian/Lembaga Lain

3.4.1 Rencana Pembangunan Fasilitas RDF oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR)

Kementerian PUPR memprakarsai rencana pembangunan TPST RDF melalui berbagai skema pendanaan di 9 kota/kabupaten, yaitu Kabupaten Tuban, Kota Cirebon, Kabupaten Bogor, Kota Banda Aceh, Kota Bandung-Cicabe, Kota Bandung-Cicukang, Kabupaten Karawang, Kabupaten Purwakarta, serta Provinsi NTB. Untuk mendukung hal tersebut, Kementerian PUPR juga telah menerbitkan SK Direktur Sanitasi No.11/KPTS/CL/2021 tanggal 29 April 2021 tentang Pembentukan Tim Efektif Strategi Implementasi Kebijakan Pembangunan Pengolahan Sampah Berbasis Teknologi RDF.

Tabel 3.2 Rencana pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF oleh Kementerian PUPR dengan dukungan Kementerian/Lembaga lain.

No.	RDF Plant/ Kapasitas (Ton /Hari)	Produk RDF (Ton/Hari)	Investasi	Operasi & Pemeliharaan (Rp per ton Sampah)	Status	Keterangan
1	Kab. Tuban Calon <i>Off-taker</i> : PT. Semen Indonesia	50	Ro.110.000.000.000	Rp 125.000	Perencanaan	Dilelang tahun 2023

No.	RDF Plant/ Kapasitas (Ton /Hari)	Produk RDF (Ton/Hari)	Investasi	Operasi & Pemeliharaan (Rp per ton Sampah)	Status	Keterangan
2	Kota Cirebon Calon <i>Off-taker</i> PT. Indocement	80	Rp.208.000.000.000	Rp. 173.000	Dokumen FS (ERiC-II)	Selesai FS, Produk : RDF Fluff
3	Kab. Bogor Calon <i>Off-taker</i> PT. Indocement & SBI	54	Rp. 157.000.000.000	Rp. 167.000	Dokumen FS (ERiC-II)	Selesai FS, Produk : RDF Fluff
4	Kota Banda Aceh Calon <i>Off-taker</i> PT. Indonesia Power	50	Rp. 82.240.000.000 (Hanya biaya peralatan tanpa pekerjaan sipil)	Rp. 128.000	Dokumen FS (ERiC-II)	Selesai FS; Produk : RDF Fluff
5	Kota Bandung (Cicabe) Calon <i>Off-taker</i> PT. Indonesia Power	30	Rp. 16.306.247.500,-	RP.162.758	Perencanaan	Masuk dalam Kegiatan ISWMP
6	Kota Bandung (Cicukang) Calon <i>Off-taker</i> PT. Indonesia Power	18	Rp. 9.852.416.500,-	Rp.201.523	Perencanaan	Selesai dibangun tahun 2022
7	Kab. Karawang Calon <i>Off-taker</i> PT. Indonesia Power	30	Rp. 17.944.927.500,-	RP.162.758	Perencanaan	Masuk dalam Kegiatan ISWMP
8	Kab. Purwakarta Calon <i>Off-taker</i> PT. Indonesia Power	30	Rp. 14.214.736.500,-	RP.162.758	Perencanaan	Masuk dalam Kegiatan ISWMP
9	Provinsi NTB (Kota Mataram dan Kab. Lombok Barat) Calon <i>Off-taker</i> PLTU Jeranjang	45		Rp. 210.765	Perencanaan	Masuk dalam usulan kegiatan pendanaan World Bank Finalisasi DED Pemenuhan RC

Rencana pembangunan fisik fasilitas RDF skala lebih dari 20 ton/hari (skala kota) akan dilakukan oleh Kementerian PUPR dan didukung Kementerian ESDM (untuk *boiler* PLTU) dan Kementerian Perindustrian (Kiln Semen). Dukungan juga diharapkan datang dari Pemerintah Provinsi dan Pemerintah Kabupaten/Kota sebagai penanggung jawab pengelolaan sampah daerah serta PT PLN (PLTU) dan Industri Semen sebagai calon *off-taker* potensial.

Pada tahun 2023, telah terbangun 8 TPST yang menerapkan teknologi pengolahan sampah menjadi RDF dengan dukungan Kementerian PUPR, yaitu : (1) TPST RDF Cilacap kapasitas 120 ton/hari (2020), (2) TPST BLE Banyumas kapasitas 75 ton/hari (2021), (3). TPST/TPA Jabon Kabupaten Sidoarjo kapasitas 450 ton/hari (2021), (4) TPST Tegalsari Kabupaten Purwakarta kapasitas 15 ton/hari (2022), (5). TPST

Jayamakmur Kabupaten Karawang kapasitas 25 ton/hari (2022), (6) TPST RDF Cikukang Holis, Kota Bandung kapasitas 10 ton/hari (2022), (7) TPST RDF Cicukang Oxbow Kabupaten Bandung kapasitas 20 ton/hari (2022), (8). TPST RDF Kertalangu Kota Denpasar kapasitas 450 ton/hari.

TPST dalam masa konstruksi pada tahun 2023 adalah: (1) TPST Regional RDF Kebun Kongok, Kabupaten Lombok Tengah NTB, (2). TPST RDF Kertamukti, Kabupaten Bekasi Jawa Barat, (3). TPST RDF Sentiong, Kota Cimahi Jawa Barat, dan (4). TPST Ibukota Nusantara (IKN) Kalimantan Timur.

Dilelangkan tahun 2023 adalah: (1) TPST Kota Padang, (2). TPST Kota Depok, (3). TPST Kota Cilegon , (4). TPST Kabupaten Indramayu, (5). TPST Kab. Tuban, (6). TPST Kab. Gianyar

Lahan dan operasional fasilitas disediakan oleh Pemerintah Kabupaten/Kota serta dapat bekerjasama dengan Badan Usaha. Informasi terkini terkait perkembangan rencana di beberapa daerah di atas sebagai berikut:

3.4.1.1 Kota Magelang, Provinsi Jawa Tengah

Pemerintah Jawa Tengah melalui Dinas Lingkungan Hidup (DLH) Provinsi Jawa Tengah merencanakan pembangunan TPST Regional wilayah Kota Magelang dan Kabupaten Magelang dengan implementasi teknologi RDF. Fasilitas ini akan memiliki kapasitas desain pengolahan sebesar 500 ton per hari. Namun demikian jarak terdekat TPST dengan pabrik semen lebih dari 100 km, sedangkan pembangkit terdekat terletak di Kabupaten Batang.

Di dalam kajian kelayakan, RDF dapat dimanfaatkan oleh *boiler* untuk memenuhi kebutuhan panas kawasan industri kecil menengah. Selain itu, bisa juga dipergunakan di industri seperti tekstil yang selama ini menggunakan batubara.

3.4.1.2 Kota Lombok, Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB).

Pemerintah Kota Mataram, dengan dukungan Kementerian PUPR, akan membangun fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di bagian timur TPA Kebun Kongok, Lombok, Nusa Tenggara Barat (NTB) pada lahan seluas 7.000 m² milik Pemerintah Kota Mataram dengan kapasitas pengolahan 120 ton sampah/hari.

TPST RDF Kebun Kongok diresmikan oleh Wakil Gubernur NTB dengan kapasitas 120 ton/hari pada tanggal 7 Agustus 2023. Fasilitas ini akan menghasilkan pelet sampah yang akan menjadi *co-firing* untuk PLTU Jeranjang. Perjanjian kerja sama untuk *co-firing* antara TPA Kebon Kongok dengan anak perusahaan PLN mencakup pasokan 1.000 ton pelet sampah untuk 6 bulan. Sampah organik dari pengolahan TPST RDF/SRF ini dalam bentuk kompos dengan metode Takakura. Material daur ulang yang terpilah dari proses TPST ini akan dikerjasamakan dengan BUMDes yang siap.

Fasilitas yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana pengelolaan sampah ini dibangun oleh Balai Prasarana dan Permukiman Wilayah (BPPW) NTB Kementerian PUPR. Pihak TPA Kebon Kongok ditunjuk sebagai operator dari pabrik ini. Target pengolahan sebesar 120 ton sampah per hari menghasilkan 15 ton RDF per hari untuk dimanfaatkan PLTU Jeranjang. RDF diharapkan dapat mensubstitusi sekitar 2% kebutuhan batubara untuk menghasilkan energi listrik di PLTU. Sisa sampah akan diolah menjadi kompos, dikelola oleh bank sampah, maupun dimanfaatkan sebagai bahan baku batako dan *paving block*.

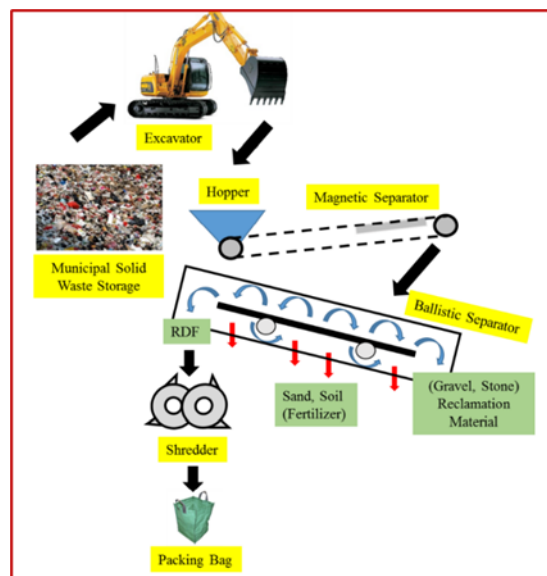


Gambar 3.26 Kunjungan Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah (BPIW) di TPST Kebon Kongok
 Sumber: Dokumentasi BPIW PUPR, 2023

Fasilitas diperkirakan membutuhkan biaya sebesar Rp 37 miliar untuk pekerjaan bangunan hanggar, bangunan kantor, pengadaan alat, pos jaga, *landscape*, area penumpukan dan *loading* dalam masa konstruksi.

3.4.1.3 Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur

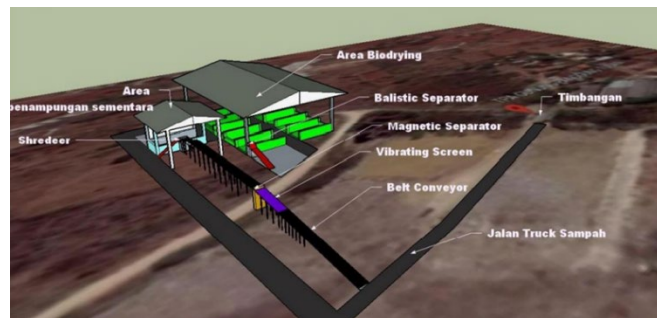
Pemerintah Kabupaten Tuban dengan dukungan Kementerian PUPR merencanakan pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di TPA Gunung Panggung dengan kapasitas olah 120 ton per hari dan ditargetkan menghasilkan RDF sebesar 50 ton per hari. Calon *off-taker* RDF adalah PT Semen Indonesia Pabrik Tuban. Biaya pembangunan diperkirakan sebesar 95 Milyar Rupiah.



Gambar 3.27 Proses pengolahan sampah lama dan baru menjadi RDF Kabupaten Tuban
 Sumber: Semen Indonesia, 2019

Fasilitas RDF TPA Gunung Panggung didesain untuk mengolah dua jenis sumber sampah yaitu sampah baru dan sampah lama. Komposisi sampah lama dan sampah baru dapat diatur sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi jumlah sampah yang masuk ke *landfill* sebanyak 50.000 ton dalam kurun waktu kurang dari sepuluh tahun dan sampah baru yang masuk ke TPA Gunung Panggung sebanyak 40 hingga 50 ton per hari.

Volume sampah dari Kabupaten Tuban saat ini sebesar 40 - 50 ton per hari, sehingga untuk memenuhi skala keekonomian pengolahan sampah menjadi RDF dengan kapasitas input sebesar 100 ton per hari, Kabupaten Tuban perlu menyediakan penambahan armada truk sampah.



Gambar 3.28 Desain tata letak mesin proses pengolahan RDF

Sumber: Universitas Internasional Semen Indonesia, 2019

Detailed Engineering Design (DED) telah dibuat oleh PUPR melalui Balai Satuan Kerja (Satker) Jawa Timur dan pada Bulan November 2021 telah dilakukan lelang pembangunan fasilitas tersebut, namun lelang dibatalkan karena dana akan dialihkan untuk kegiatan lainnya. Pada tahun 2023, pembangunan fasilitas tersebut kembali dilelang.

3.4.1.4 Kota Banda Aceh, Daerah Istimewa Aceh

Kementerian PUPR telah mengidentifikasi bahwa Kota Banda Aceh cukup potensial untuk dibangun fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF. Saat ini telah dilakukan Pra Studi Kelayakan oleh Kementerian ESDM untuk membangun fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF dengan kapasitas 120 ton per hari. Namun, terdapat kendala lahan, karena lahan yang tersedia adalah situs sejarah.

Selanjutnya Kementerian PUPR menawarkan untuk membangun fasilitas pengolahan di TPA Regional Aceh yaitu Blang Bintang, namun jarak dari lokasi TPA menuju Pabrik Semen PT Solusi Bangun Andalas (PT. SBA) lebih jauh dibandingkan area Banda Aceh. Fasilitas pengolahan sampah TPA Blang Bintang direncanakan berkapasitas 300 ton per hari dan menghasilkan sekitar 150 ton RDF per hari.

Perjanjian kesepahaman (MoU) telah ditandatangani antara PT SBI dan Pemerintah Provinsi Aceh pada bulan September 2021. Saat ini sedang dalam tahap penyusunan revisi kajian kelayakan karena lokasi fasilitas direncanakan pindah ke TPA Regional Blang Bintang untuk melayani kota Banda Aceh dan Aceh Besar. Penyusunan kajian kelayakan ini didukung oleh Pemerintah Denmark, sedangkan DED dan pembangunan fasilitas direncanakan akan didukung oleh Kementerian PUPR serta bantuan World bank.

Pada lingkup area Daerah Istimewa Aceh, saat ini juga sedang diupayakan kajian pemanfaatan RDF melalui pembangkit listrik yang dimiliki PT SBI di pabrik Lhoknga (LHO).

3.4.1.5 Kota Padang, Provinsi Sumatera Barat

Perjanjian kesepahaman (MoU) telah ditandatangani antara PT Semen Padang dan Pemerintah Kota Padang untuk memanfaatkan sampah Kota Padang menjadi bahan bakar alternatif di PT Semen Padang. Kajian Kelayakan pembangunan fasilitas pengolahan sampah mendapatkan dukungan dari

KLHK, yang telah menyatakan kelayakan proyek tersebut untuk membangun fasilitas berkapasitas 300 ton per hari. Proses selanjutnya adalah penyusunan Kajian DED yang direncanakan akan mendapatkan dukungan dari KFW.

3.4.1.6 Kota Magelang Raya

Laporan akhir DED TPA/TPST Magelang yang diinisiasi PT SBI telah diselesaikan dan diserahkan kepada Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan (DLHK) Provinsi Jawa Tengah pada Maret 2022. Namun saat ini terdapat isu persentase Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) yang perlu dipenuhi, sehingga diperlukan kaji ulang terkait peralatan pengolahan sampah yang akan digunakan. PT SBI bersama Kementerian PUPR dan Kementerian Koordinator Bidang Maritim dan Investasi (Kemkomarves) selanjutnya mengkaji beberapa penyedia (*vendor*) peralatan lokal. Adapun identifikasi calon *off-taker* RDF di sekitar Magelang telah dilakukan oleh DLHK Provinsi Jawa Tengah, salah satu yang dipandang berpotensi adalah industri tekstil.



Gambar 3.29 Rancangan Gerbang TPST Regional Magelang

Sumber: Dokumen DED TPST Kota Magelang, 2022

3.4.2 Fasilitas Kajian Kelayakan Pembangunan RDF oleh Kementerian ESDM

Kementerian ESDM memfasilitasi penyediaan kajian kelayakan proyek pembangunan fasilitas RDF di beberapa kota/kabupaten sebagai berikut:

Tabel 3.3 Fasilitas penyusunan FS proyek pembangunan fasilitas RDF

No	Telah Difasilitasi FS RDF/SRF KESDM	Tahun
1	Kota Medan	2021
2	Kabupaten Minahasa Selatan	2022
3	Kabupaten Sukabumi	2022
4	Kabupaten Sumedang	2022
No Pelaksanaan penyusunan FS RDF/SRF Tahun 2023		
1	Kota Bandar Lampung	
No Mengajukan Fasilitas FS RDF/SRF KESDM		
1	Kabupaten Sanggau	
2	Kabupaten Barru	
3	Kota Samarinda	

Sumber: Kementerian ESDM, 2023

3.4.3 Rencana Pembangunan Fasilitas Pengolahan Sampah Kementerian Koordinator Bidang Maritim dan Investasi

Kementerian Koordinator Bidang Maritim dan Investasi (Kemenko Marves) dalam Rapat Koordinasi Percepatan Pembangunan Infrastruktur Pengolahan Sampah pada Bulan Juli 2022 menyampaikan usulan lokasi prioritas percepatan penanganan sampah melalui pembangunan fasilitas RDF tahun 2023 dan tahun 2024.

Pada tahun 2023, Kemenko Marves merencanakan pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF di 7 lokasi dengan kapasitas total sebesar 1.800 ton/hari dengan perkiraan biaya investasi sebesar Rp. 1.200 Milliar.

Tabel 3.4 Usulan lokasi pembangunan fasilitas RDF dan TPST Tahun 2023

No.	Kabupaten/Kota	Kapasitas (ton/hari)	Perkiraan Biaya Investasi (Milliar Rupiah)
1	Kabupaten Jepara	300	200
2	Kota Padang	300	200
3	Kota Medan	300	200
4	Kota Kupang	150	100
5	TPA Bantar Gebang	300	200
6	Kabupaten Sukabumi	300	200
7	Kabupaten Lombok Barat	150	100
	Total	1.800	1.200

Sumber: Kemenko Marves, 2022

Tabel 3.5 Usulan lokasi pembangunan fasilitas RDF dan TPST Tahun 2024

No.	Kabupaten/Kot	Kapasitas (ton/hari)	Perkiraan Capex (Milliar Rupiah)
1	Banda Aceh	150	100
2	Kota Ambon	150	100
3	Batam	300	200
4	Kab Bogor	300	200
5	Kota Cirebon	300	200
6	Kab Bandung	300	200
7	Kab Bengkayang	150	100
8	Kab. Rembang	150	100
	Total	1.800	1.200

Sumber: Kemenko Marves, 2022

3.5 Rencana Pembangunan Fasilitas RDF sebagai Bahan Bakar *Co-firing* di PLTU

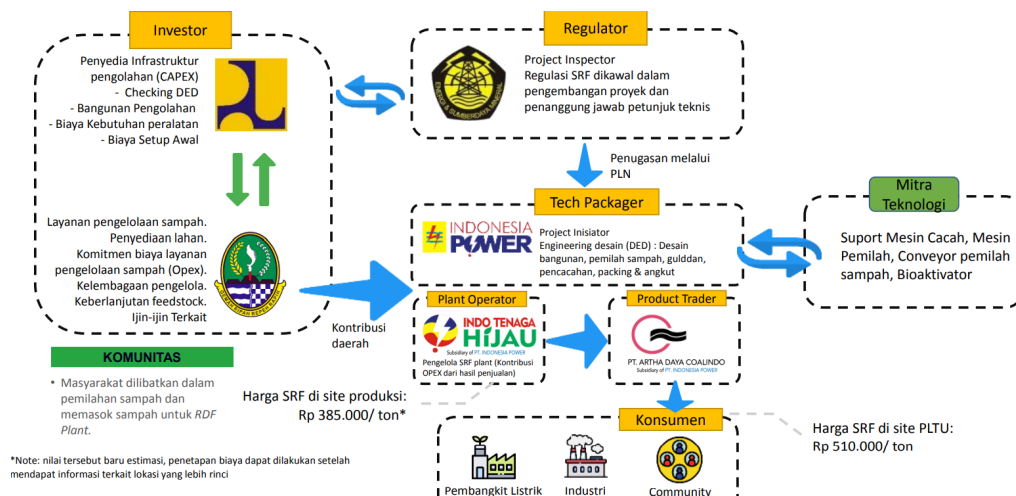
3.5.1 Program Citarum Harum

Program Citarum Harum merupakan program lintas kementerian/lembaga yaitu Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Kementerian PUPR, PLN, dan PT. Indonesia Power yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas air Sungai Citarum, mengatasi banjir, dan mengatasi persoalan lingkungan

di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum melalui pengolahan sampah menjadi bahan bakar *co-firing* pada PLTU PLN. Program ini meliputi seluruh jalur Citarum yang terdiri dari 12 kabupaten/kota di Jawa Barat.

Lingkup program adalah pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi Bahan Bakar Jumptuan Padat (BBJP) dengan kapasitas pengolahan sampah 30 ton/hari yang akan menghasilkan pelet BBJP sebanyak 12 ton/hari.

Sejalan dengan hal tersebut, PLN sedang melakukan kajian dan menyusun peta jalan (*roadmap*) pelaksanaan *co-firing* biomassa pada PLTU yang direncanakan *roll out* pada 2021 – 2024. PT Indonesia Power diajukan sebagai calon *off-taker* BBJP untuk *co-firing* di PLTU Lontar Banten, PLTU Pratu, dan PLTU Indramayu.



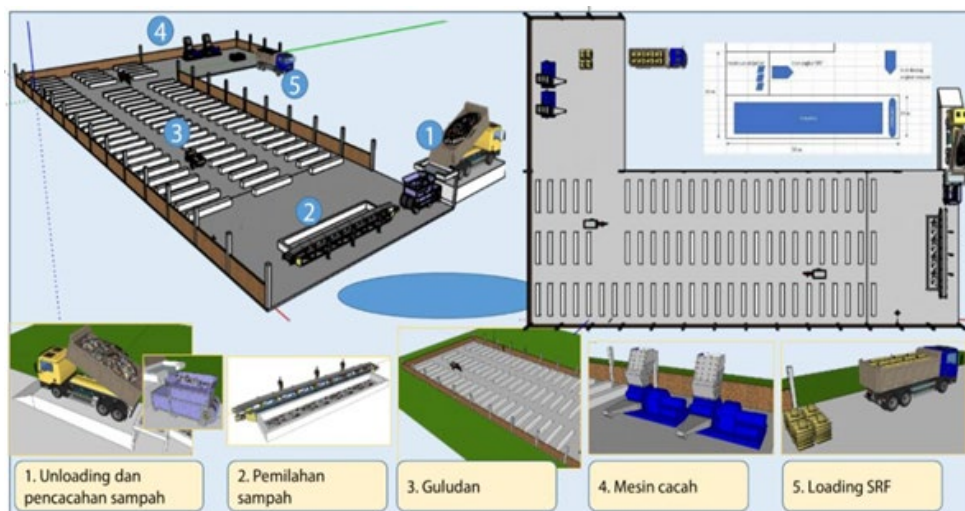
Gambar 3.30 Pengelolaan RDF dalam Skema Citarum Harum

Sumber: Kementerian ESDM, 2021

Pada tahap awal, program akan diimplementasikan pada 5 (lima) lokasi yang direncanakan untuk dibangun pada tahun 2021. Pada saat ini PT. Indonesia Power telah menyelesaikan *Detailed Engineering Design* (DED) untuk 4 lokasi yaitu di Kota Bandung, Kabupaten Purwakarta, dan Kabupaten Karawang. Kementerian PUPR sedang melakukan lelang pengadaan TPST RDF yang ada di Kota Bandung, Kabupaten Purwakarta, dan Kabupaten Karawang. Adapun pengadaan TPST RDF Puspajelekong, Kabupaten Bandung, masih dalam proses penyiapan dokumen.



Gambar 3.31 Rencana tata letak RDF dalam Skema Citarum Harum (1)
 Sumber: PUPR, foto dokumentasi PT Indonesia Power 2021



Gambar 3.32 Rencana tata letak RDF dalam Skema Citarum Harum (2)
 Sumber: PUPR, desain dokumentasi PT Indonesia Power 2021

Tabel 3.6 Lokasi pembangunan Program Citarum Harum

No	Lokasi	Kabupaten/Kota
1	RW 07 Desa Jelekong, Kec. Baleendah	Kabupaten Bandung
2	Bekas TPA Cicabe, Jl. Abdul Hamid Kec. Jatihandap, Kec. Mandalajati	Kota Bandung
3	Pool Barat, Jl. Cicukang Holis, Kel. Cigondewah Kaler, Kec. Bandung Kidul	Kota Bandung
4	Kampung Pasir Rompok Blok 005 Desa Tegalsari Kec. Tegalwaru	Kabupaten Purwakarta
5	Desa Jaya Mekar Kec. Jayakarta	Kabupaten Karawang

3.5.2 *Pilot Project* Jeranjang Olah Sampah Setempat (JOSS) di Jeranjang, NTB

Program ini merupakan kolaborasi antara PT. PLN, PT. Indonesia Power, dan Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB). Adapun Kementerian ESDM terlibat dalam program ini sebagai regulator dan fasilitator. Lingkup program adalah pembangunan fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF/SRF dengan teknologi peyueumisasi untuk bahan bakar *co-firing* PLTU Jeranjang. Kapasitas pengolahan sampah saat ini masih dalam skala *pilot project*, sebesar 100-200 kg pelet/hari dan akan dilakukan peningkatan kapasitas olah hingga 100 ton pelet/hari. Sampah yang akan diolah di fasilitas RDF JOSS dipasok dari TPA Kebon Kongok dengan jumlah minimal 300-400 ton per hari.

Pemerintah Provinsi NTB telah melakukan persiapan dokumen sesuai persyaratan Kementerian PUPR serta sedang menyelesaikan kajian kelayakan pembangunan RDF untuk kapasitas 100 ton pelet/hari. Kementerian PUPR menganggarkan pembangunan fasilitas ini pada tahun anggaran 2021/2022.

3.6 Rencana Pemanfaatan RDF sebagai Bahan Bakar *Boiler* di PT Tjiwi Kimia

Salah satu produsen kertas di bawah APP Group yang berlokasi di Sidoarjo, Jawa Timur, yaitu PT Tjiwi Kimia, saat ini sedang membangun *boiler* berbahan bakar RDF dengan kapasitas 200 ton per hari yang akan dimanfaatkan sebagai sumber energi di pabrik kertas.

Sekitar 50% bahan baku RDF direncanakan berasal dari internal perusahaan yaitu impuritas sisa proses daur ulang bahan baku kertas karton, sementara 50% sisanya berpotensi didapatkan dari pengolahan sampah menjadi RDF yang dikelola oleh pemerintah daerah, maupun RDF dari sampah padat industri lain di sekitar pabrik.



Gambar 3.33 Pabrik Kertas Tjiwi Kimia

Sumber: PT Tjiwi Kimia, 2022

BAB 4 IMPLEMENTASI SRF/RDF DI PASAR GLOBAL

4.1 Pasar SRF/RDF di Eropa dan Asia

SRF/RDF di Eropa diproduksi dari berbagai aliran limbah seperti sampah domestik (*Municipal Solid Waste/MSW*), limbah komersial dan industri (*Commercial and Industrial Waste/C&IW*), serta limbah komersial dan bongkaran (*Commercial and Demolition Waste/C&DW*) yang diolah di fasilitas pemilahan mekanikal (*Mechanical Treatment/MT*) dan pengolahan mekanis-biologis (*Mechanical Biological Treatment/MBT*) menghasilkan produk SRF/RDF sekitar 35% dari input MSW serta 15% dari input *Commercial and Industrial Waste (C&IW)* serta limbah *Construction and Demolition Waste (C&DW)*.

Riset mengenai pasar SRF/RDF di Eropa telah dilakukan oleh *European Recovered Fuel Organization (ERFO)* dan *European Cement Association (Cembureau)*. Kiln semen dan fasilitas *Waste to Energy (WtE)* merupakan pasar terbesar SRF/RDF di Eropa, diperkirakan pada tahun 2017 sekitar 12 juta ton/tahun produksi SRF/RDF diserap oleh kedua fasilitas tersebut, dan kiln semen berkontribusi menyerap RDF sebesar 40% atau sekitar 5 juta ton/tahun. Adapun sisanya diserap pembangkit listrik, pabrik gasifikasi/pirolisis, industri dengan kiln khusus, serta tanur tinggi atau kiln kapur.

Dengan asumsi kapasitas pengelolaan limbah MSW, C&IW dan C&DW, maka ERFO dan Cembreau memperkirakan potensi produksi SRF/RDF sekitar 63 juta ton/tahun SRF/RDF di Eropa. Selain industri semen, laporan tersebut mengidentifikasi sejumlah sektor industri dengan potensi penggunaan SRF/RDF sebagai pengganti bahan bakar fosil, antara lain:

- (1) Industri kertas dan kimia, potensi substitusi sekitar 5%;
- (2) Pembangkit listrik dan pembakaran bersama dengan SRF/RDF, dengan potensi substitusi sekitar 2%;
- (3) Sistem pemanas distrik, dengan potensi substitusi sekitar 3%.

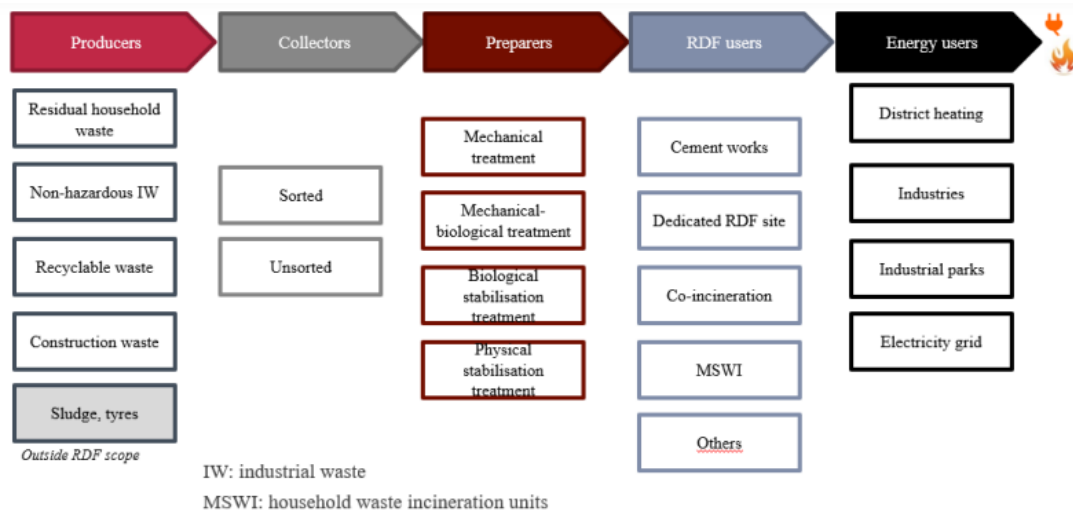
SRF/RDF diperdagangkan sebagai komoditas lintas batas negara-negara di Eropa. Sejak tahun 1970-an beberapa negara di Eropa telah mengoperasikan fasilitas pengolahan limbah/sampah menjadi SRF/RDF. Karena kurangnya fasilitas pemanfaat SRF/RDF serta pengenaan pajak TPA yang tinggi secara bersamaan, negara seperti Inggris dan Irlandia mengeksport SRF/RDF ke Belanda dan Jerman. Pada tahun 2017, sejumlah 3.049.583,9 ton RDF diekspor dari Inggris ke negara Eropa lainnya. Saat ini Jerman mengimpor sekitar 1,6 juta ton SRF, dan hampir 50% SRF dari jumlah tersebut dipasok dari Inggris.

Di Inggris, pasar utama untuk SRF yang berasal dari sampah adalah kiln semen, pembangkit listrik, *boiler* industri (seperti pabrik pulp dan kertas), fasilitas insinerasi SRF, serta fasilitas pengolahan termal seperti gasifikasi dan pirolisis.

Sejak larangan praktek *landfill* di TPA diberlakukan di Jerman pada tahun 2005, Pemerintah Jerman menyiapkan kerangka aturan pengolahan sampah termasuk aturan sampah daur ulang dan produksi

SRF/RDF. Pada tahun yang sama, Pemerintah Jerman merencanakan mengganti pembangkit listrik berbasis lignit. Pada tahun 2008, Jerman telah mengganti 54% bahan bakar konvensional yang digunakan dalam industri semen dengan RDF.

Potensi produksi SRF di Eropa pada tahun 2017 mencapai 70 juta metrik ton per tahun (ERFO, 2019). Permintaan pasar untuk SRF melonjak 356,2% antara 2017 dan 2018. Sejak akhir tahun 2017, konsumsi SRF semakin tinggi di sejumlah negara Eropa antara lain Inggris, Belanda, dan Jerman. Belanda telah mengganti lebih dari 80% bahan bakar fosil dengan RDF. Tingkat substitusi termal industri semen Polandia saat ini di atas 60%, dengan beberapa pabrik semen menggunakan hingga 85% bahan bakar alternatif (Sumber: Clarity Environmental Agency, 2020).



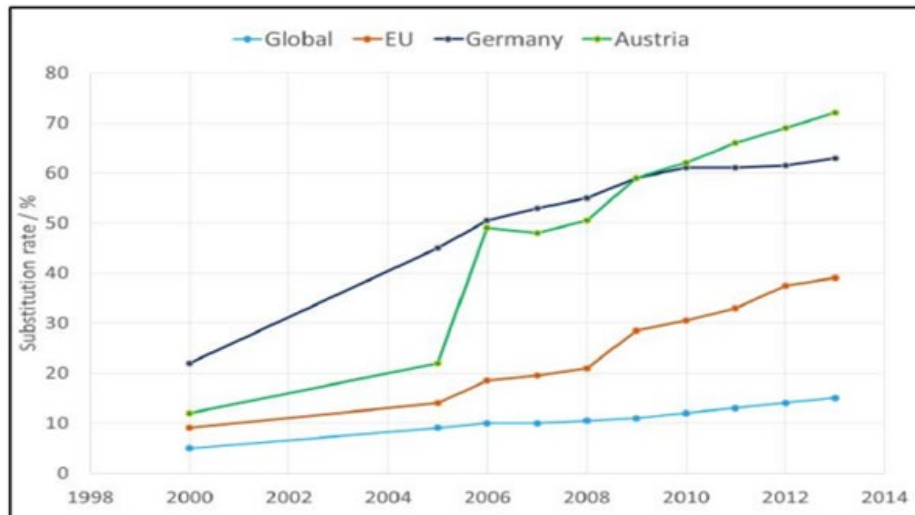
Gambar 4.1 Rantai nilai RDF
Sumber: DGE, RECORD (2018)

Di Eropa, SRF/RDF umumnya digunakan sebagai bahan bakar parsial bersama bahan bakar fosil di industri pembangkit, kiln semen, kiln kapur, fasilitas insinerasi sampah, serta fasilitas yang didedikasikan untuk pemulihan energi dari SRF/RDF untuk memproduksi panas atau listrik.

Industri semen menjadi pemanfaat utama SRF/RDF karena teknologi di industri ini mampu mengatasi kandungan klorin hingga 1% dan tidak memiliki masalah terlalu besar dengan alkali dan logam berat kecuali kromium dan merkuri.

Pembangkit listrik tenaga batubara di Eropa kurang berminat memanfaatkan RDF sebagai bahan bakar parsial karena terdapat risiko korosi pada *boiler* yang disebabkan oleh kandungan klorin pada RDF dan perubahan kualitas abu pembakaran jika kandungan logam berat pada RDF terlalu tinggi.

Gambar 4.2 menunjukkan tingkat substitusi dan tren pemanfaatan SRF di pabrik semen di seluruh dunia. Austria (2011: 65,3 %) dan Jerman (2011: 61,1 %), di atas rata-rata 27 UE serta Global. Data untuk tahun 2006: UE18 %; Amerika Utara: 11%; Jepang: 11%; Australia: 11%; dan Asia: 4%.

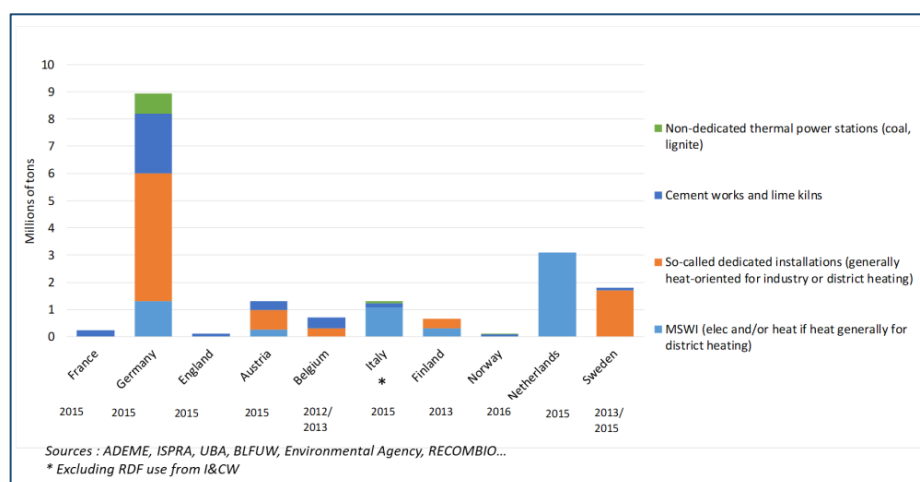


Gambar 4.2 Tingkat substitusi termal bahan bakar alternatif di industri semen global

Sumber: http://www.vivis.de/images/Konferenzen/BAEK/2016/2016_EaA_Sarc.pdf

Industri pulp dan kertas di Eropa berpeluang dalam pemanfaatan SRF/RDF karena konsumsi panas yang tinggi dan industri ini membutuhkan sumber bahan bakar alternatif untuk produksi panas dan listrik (*Combined Heat and Power/CHP*). Sekitar 54–82 boiler CHP baru diperlukan pada tahun 2020 menggantikan boiler bahan bakar padat lama di industri pulp dan kertas di negara-negara Eropa. Unit CHP baru ini akan membutuhkan sekitar 8–13 juta ton bahan bakar yang berasal dari limbah/sampah. Nilai investasi penggantian boiler mencapai 4,7 hingga 7,5 miliar Euro pada tahun 2020. Peningkatan penggunaan SRF dalam boiler industri pulp dan kertas juga didorong oleh meningkatnya harga bahan bakar kayu (RECORD,2018).

Negara-negara seperti Swedia, Belanda, dan Jerman telah berinvestasi untuk membangun fasilitas CHP berbahan bakar RDF karena menganggap teknologi tersebut merupakan solusi yang lebih berkelanjutan untuk kebutuhan energi di masa depan. Untuk memaksimalkan potensi pasar RDF, produsen RDF didorong berinvestasi dalam teknologi terbaru agar tetap kompetitif di sektor pengolahan sampah menjadi energi.



Gambar 4.3 Pemanfaatan RDF di beberapa negara Eropa (DGE, RECORD, 2018)

Daya tarik utama RDF sebagai sumber bahan bakar adalah harga RDF per kalori yang lebih murah dibandingkan bahan bakar fosil. RDF dapat digunakan sebagai bahan bakar pengganti sebagian batubara atau bahan bakar padat lainnya yang digunakan oleh industri, terutama industri semen, pembakaran kapur, serta *boiler* industri lainnya. Penggunaan SRF sebagai sumber bahan bakar untuk *boiler* pembangkit *Combined Heat Power* (CHP), idealnya berlokasi di dekat fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF.

SRF dalam banyak kasus digunakan bersama-sama dengan bahan bakar lain (*co-firing* atau *co-combustion*). Pengguna utama SRF untuk *co-combustion* adalah pembangkit listrik, kiln semen dan kapur, serta industri kertas dan baja. Fasilitas pembersihan gas buang di *plant* pemanfaat RDF di Jerman (kecuali pabrik semen), umumnya terdiri dari (1) Kontrol emisi asam dengan *scrubber* kering atau semi-kering; beberapa site menggunakan *scrubbing* basah untuk alasan khusus; (2) DeNOx dengan teknologi SNCR; (3) Penghapusan merkuri dan dioksin dengan injeksi karbon aktif; (4) Debu ditangani dengan *baghouse*.

Di Jepang, 50 fasilitas pengolahan limbah/sampah memproduksi sekitar 270.000 ton RDF pada tahun 2013 dan 300.000 ton pada tahun 2015. Dengan nilai kalor bersih rata-rata sekitar 18 MJ/kg, RDF digunakan di fasilitas WtE perkotaan, terutama untuk fasilitas pembangkit listrik lokal, industri semen, industri pulp, serta fasilitas pemanas distrik.

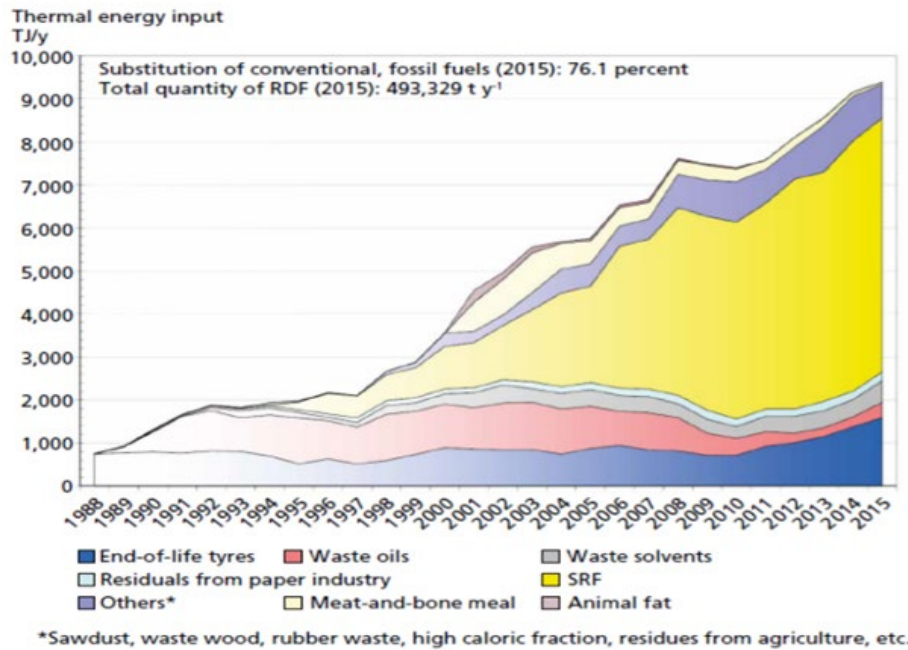
4.2 Implementasi RDF di Industri Semen Global

4.2.1 Eropa

4.2.1.1 Austria

Pemanfaatan SRF di kiln pabrik semen memiliki tradisi panjang di Austria, dengan lebih dari 65,3 % substitusi energi primer pada tahun 2011 dan bahkan 72,36 % pada tahun 2013. Sementara itu, perdagangan emisi Eropa (Pedoman 2003/87 EC) telah membuka ruang lingkup baru untuk penggunaan SRF, karena kandungan biomassa yang relatif tinggi, yaitu antara 30 dan 55%, tergantung pada nilai kalori), sertifikat emisi diberikan kepada pabrik semen yang menggunakan SRF.

Co-incineration SRF di industri semen menjadi acuan penting dalam pengelolaan limbah di Austria. Lafarge Austria pertama kali menggunakan bahan bakar alternatif di salah satu pabriknya di Austria pada tahun 1996, dan sejak saat itu industri semen Austria telah mencapai tingkat substitusi hingga 80% untuk bahan bakar fosil. Persyaratan kepatuhan hukum, jaminan pasokan, kualitas produk SRF serta jaminan kualitas SRF untuk industri semen di Austria mengikuti pedoman CEN/TC 343 – *Solid Recovered Fuels*.



Gambar 4.4 Pemanfaatan bahan bakar alternatif di Industri Semen Austria

Sumber: Sarc R, Roland Pomberger R, and Karl E. Lorber K.E, 2017. Innovative Technical Solutions for Reduction of waste Fuel Specific Emissions in Cement Plants. Waste Management, Editors: Karl J. Thomé-Kozmiensky, Stephanie Thiel, Elisabeth Thomé-Kozmiensky, Franz Winter, Dagmar Juchelková, Volume 7, 2017: 475-497.

4.2.1.2 Polandia

Thermal Substitution Rate (TSR)/Tingkat Substitusi Termal industri semen Polandia saat ini lebih dari 60%, bahkan beberapa pabrik semen memiliki TSR mencapai 85%, di mana 70-80% di antaranya adalah RDF, sedangkan bahan bakar alternatif sisanya adalah ban dan limbah lumpur. Angka ini jauh melebihi rata-rata global dan Uni Eropa.

Industri semen adalah konsumen terbesar limbah olahan sebagai bahan bakar di Polandia, sebesar 1,5 juta ton per tahun dan diperkirakan akan terus meningkat menjadi 2 juta ton pada tahun yang akan datang. Diproyeksikan bahwa industri semen akan menyerap sekitar sepertiga dari total kapasitas pemrosesan RDF di Polandia.

Agar tetap kompetitif, pabrik semen Polandia berinvestasi dalam teknologi baru dan solusi inovatif untuk mengurangi biaya pengolahan awal RDF. Pada tahun 2016, diperkirakan 1 juta ton batubara digantikan oleh RDF dan menyumbang pengurangan emisi sebesar 2,5 juta ton CO₂ per tahun (sumber: IFC, 2017, *increasing the use of alternative fuels at cement plants: international best practices, report*).

4.2.1.3 Jerman dan Belanda

Di Jerman, hanya sampah yang tidak dapat didaur ulang yang diizinkan Pemerintah untuk diolah menjadi RDF. Tingkat daur ulang sampah di Jerman mencapai 40%, dan dari keseluruhan volume sampah, diperkirakan hanya 20-30% dari sampah yang dapat diproses menjadi RDF berkalori tinggi.

Saat ini terdapat 52 pabrik pengolahan sampah menjadi RDF dengan teknologi mekanik/*Mechanical Treatment (MT)* atau mekanik-biologis/*Mechanical Biological Treatment (MBT)* menghasilkan sekitar 2,5 juta ton SRF per tahun. Tambahan 4,2 juta ton SRF berasal dari pengolahan limbah komersial dan

industri ringan yang tidak ditangani oleh sistem pengelolaan limbah publik (Schu 2007). Jumlah total limbah berkalori tinggi dari sektor industri dan komersial diperkirakan mencapai > 9 juta ton.

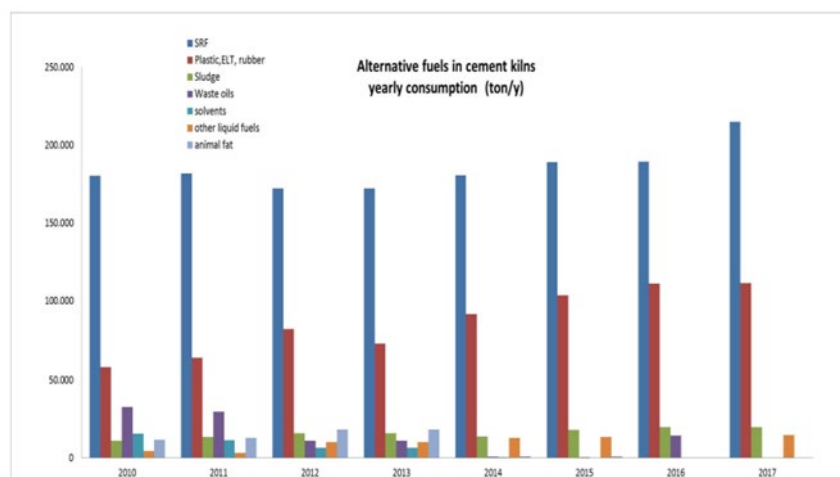
Rencana Pemerintah Jerman untuk mengganti pembangkit listrik berbasis lignit merupakan faktor pendukung pemanfaatan SRF/RDF. Pada tahun 2008, Jerman telah mengganti 54% bahan bakar konvensional di industri semen dengan RDF, dan Belanda telah mengganti lebih dari 80%. Beberapa pabrik semen Jerman telah mencapai tingkat substitusi 100% bahan bakar fosil dengan bahan bakar alternatif, termasuk RDF.

4.2.1.4 Perancis

Combustibles Solides de Recuperation (CSR) adalah istilah SRF di Perancis. Pada tahun 2015, produksi CSR di Perancis mencapai 800.000 ton, dan sekitar 275.000 ton diantaranya dikonsumsi oleh kiln semen di negara ini.

4.2.1.5 Italia

Sementara itu, di Italia pada tahun 2017, TSR rata-rata industri semen melalui penggunaan SRF sebesar 17,3%, masih di bawah capaian TSR berbagai negara Eropa, namun terkini industri semen di negara tersebut menargetkan TSR sebesar 40-50% pada tahun 2025.



Gambar 4.5 Konsumsi bahan bakar alternatif di Industri Semen di Italia tahun 2010 -2017

Sumber: AITEC, 2018. Annual Report 2018. Eds. Italian Cement Technical and Economical Association, AITEC, Rome, pp.30

4.2.2 Asia

4.2.2.1 Jepang

Produksi SRF dan RDF di Jepang baru mulai berkembang di tahun 2014. Karena kelangkaan lahan, pengolahan sampah di Jepang sebagian besar merupakan pengolahan termal (insinerasi dan gasifikasi sebesar 81% dari hampir 43 juta ton sampah yang dihasilkan pada tahun 2015).

Di Jepang, RDF dipandang sebagai bahan bakar yang berasal dari sampah yang ditambahkan bahan yang dapat membusuk serta kapur, dan dibedakan dengan RPF (adalah sejenis bahan bakar padat yang diperoleh dari limbah plastik, kertas, pulp dan kayu industri/komersial). Menurut data yang tersedia,

hanya sekitar 644.000 ton RDF dan sekitar 1,25 juta ton RPF (kertas turunan sampah dan bahan bakar padat plastik) diproduksi di Jepang pada tahun 2015.

4.2.2.2 Thailand

Kapasitas pengolahan sampah menjadi RDF di Thailand mulai dari 250–500 ton/hari hingga 1.550–2.700 ton/hari, dengan perkiraan potensi konsumsi RDF di fasilitas insinerasi sekitar 4.950 ton/hari. Sebanyak 23 kiln semen dilaporkan sedang beroperasi, sedang dibangun, dan direncanakan dengan kapasitas klinker 38 juta ton/tahun dan berpotensi mensubstitusi 40% kebutuhan energinya dengan RDF. Karakteristik RDF yang sesuai untuk pemanfaatan di kiln semen di Thailand membutuhkan minimal nilai kalor sebesar 18,8 MJ/kg, kadar air <30 %, serta kadar klorin dan belerang <1%.

Thailand memiliki potensi produksi sekitar 2,46 juta ton RDF per tahun. Komposisi RDF tipikal di Thailand terdiri dari 40% plastik, 30% sampah pekarangan, 10% sisa makanan, kurang dari 10% kertas dan sekitar 10% bahan yang tidak mudah terbakar, dengan nilai kalor sekitar 19,6 MJ/kg dan kadar air 12%.

Tiga perusahaan semen nasional telah berinvestasi membangun fasilitas pengolahan MSW menjadi RDF dengan perkiraan kapasitas lebih dari 350.000 ton/tahun RDF, dua fasilitas lainnya sedang dibangun dengan kapasitas sebesar 1,5 juta ton/tahun.

Pada tahun 2016, fasilitas WtE Thailand terdiri dari 8 fasilitas RDF, 7 pabrik insinerasi MSW/RDF dan 5 pabrik gasifikasi RDF. Substitusi bahan bakar di industri semen Thailand pada tahun 2016 terdiri dari konsumsi RDF sebesar 94 juta ton (ktoe 43,28) dan 32 juta ton (ktoe 25,15) ban bekas.

4.2.2.3 India

India adalah salah satu produsen semen terbesar di dunia setelah Cina dengan total 163 kiln yang beroperasi pada tahun 2017. Namun demikian, TSR di pabrik semen di India masih cukup rendah, dengan peningkatan dari 0,6% pada 2010, menjadi 3% pada 2017, dimana 24% dari total TSR adalah biomassa.

RDF dianggap sebagai salah satu bahan bakar alternatif yang paling menjanjikan di industri semen di India, selain ban bekas, limbah plastik, limbah berbahaya, lumpur limbah kering, dan biomassa dengan perkiraan potensi ketersediaan sekitar 1,37 Mton/tahun.

Beberapa tantangan dalam pemanfaatan RDF di India adalah: (1). hambatan teknis seperti kualitas sampah yang rendah, kelembaban yang tinggi, kandungan klor dan logam; (2) hambatan keuangan seperti biaya investasi yang tinggi untuk pabrik pra pengolahan, pengumpulan, dan transportasi RDF; serta (3) hambatan kebijakan dan regulasi terkait konversi MSW ke RDF serta *co-processing* RDF di tanur semen yang masih terus dielaborasi.

Untuk mempromosikan penggunaan RDF, Kementerian Perumahan Rakyat dan Perkotaan India pada bulan Oktober 2017 membuat Pedoman dan Rekomendasi Pemanfaatan RDF di berbagai industri, salah satunya dengan memodifikasi Aturan Manajemen Pengelolaan Sampah di tahun 2016.

Pedoman ini memberikan wawasan tentang berbagai aspek yang mencakup kerangka kebijakan, analisis komparatif penggunaan potensial RDF di berbagai industri, skenario global, dan praktik terbaik di India. Pedoman tersebut mencakup perkiraan jumlah RDF berbasis MSW dan juga memetakan

pabrik semen dan fasilitas pengolahan MSW di seluruh negeri untuk memfasilitasi implementasi yang lebih cepat antara operator pengolah sampah dan industri semen (sumber: www.swachhnharaturban.in.)

Selain itu, pada tahun 2018 disusulkan Modifikasi Aturan SWM 2016 yang merekomendasikan beberapa hal berikut:

Klausul 15(v) b: di bawah tugas dan tanggung jawab otoritas lokal dan desa Panchayat aglomerasi kota dan perkotaan, disebutkan bahwa “Proses WtE termasuk RDF untuk fraksi limbah yang mudah terbakar atau pasokan bahan bakar berbasis limbah padat untuk pembangkit listrik atau kiln semen”

Klausul 21: Kriteria proses *waste to energy*

(1) Sampah yang tidak dapat didaur ulang dengan nilai kalor 1.500 kkal/kg atau lebih tidak boleh dibuang ke TPA dan hanya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi, baik sebagai RDF maupun dengan cara diolah sebagai bahan baku untuk mempersiapkan bahan bakar turunan sampah (RDF).

(2) Limbah berkalori tinggi harus digunakan untuk *co-processing* di pembangkit listrik atau termal dan pabrik semen.

Klausul 18: “Tugas unit industri yang terletak dalam jarak 100 km dari RDF dan limbah untuk pembangkit energi berbasis limbah padat”.

Aturan baru menyatakan bahwa semua unit industri yang menggunakan bahan bakar padat dan terletak dalam jarak 100 km dari pabrik RDF harus membuat pengaturan dalam waktu enam bulan sejak tanggal pemberitahuan peraturan tersebut untuk mengganti setidaknya 5% dari kebutuhan bahan bakarnya dengan RDF.

Pabrik semen yang terletak dalam jarak 400 km dari pabrik RDF harus membuat pengaturan yang diperlukan untuk memanfaatkan RDF di tahap berikut dengan cara bijaksana, dan dengan harga yang ditetapkan oleh Pemerintah Negara Bagian:

- Mengganti setidaknya 6% dari asupan bahan bakar, dalam waktu satu tahun sejak tanggal amandemen aturan ini (nilai kalor ekuivalen/Tingkat Substitusi Termal) dengan SCF berbasis Sampah Kota dan/ atau RDF, tergantung ketersediaan RDF.
- Mengganti setidaknya 10% asupan bahan bakar dalam waktu dua tahun sejak tanggal amandemen aturan tersebut (nilai kalor ekuivalen/Tingkat Substitusi Termal) dengan SCF dan/atau RDF berbasis Limbah Padat Kota, tergantung ketersediaan RDF.
- Mengganti setidaknya 15% dari asupan bahan bakarnya dalam waktu tiga tahun sejak tanggal amandemen aturan ini (nilai kalor ekuivalen/Tingkat Substitusi Termal) oleh SCF berbasis Limbah Padat Kota dan/atau RDF, tergantung ketersediaan RDF.”

(sumber: website i.e. www.swachhnharaturban.in).

4.2.3 Afrika

4.2.3.1 Mesir

Terdapat 8 dari 14 produsen semen yang mengolah bersama-sama sekitar 223.000 ton RDF dan 32.000 ton ban bekas pada tahun 2014. Pada tahun yang sama, rata-rata TSR sebesar 6,4% dicapai oleh industri semen nasional, dengan TSR maksimum sebesar 13% dicapai dua kiln semen. Diperkirakan

20% TSR dapat dicapai pada tahun 2025, berdasarkan ketersediaan bahan bakar pengganti di negara tersebut dan kemampuan sistem pengelolaan limbah untuk mendukung produksi RDF.

Untuk mencapai target tersebut, diperkirakan kebutuhan RDF sebesar 1,36 juta ton, limbah pertanian 1,51 juta ton, ban bekas 0,1 juta ton, dan lumpur limbah kering sebesar 0,44 juta ton.

4.3 Implementasi RDF di Industri Pembangkit Listrik dan Termal

4.3.1 Eropa

Proses insinerasi SRF/RDF untuk pemulihan energi RDF dan pembangkitan energi listrik dan/atau energi panas adalah pengguna akhir SRF serta RDF (terutama digunakan pada pembangkit yang dilengkapi dengan *boiler FBB/Fluidized Bed Boiler*, tetapi juga pada pembangkit dengan teknologi *grate*), merupakan implementasi SRF/RDF yang umum di beberapa negara Eropa (misalnya Italia).

4.3.1.1 Swedia

Produksi RDF di Swedia pada tahun 2012 diperkirakan sebesar 0,4 juta ton dari bahan baku yang merupakan campuran sampah domestik dan sampah industri serta komersial, sedangkan konsumsi internal pada tahun 2015 mencapai 1,8 juta ton di mana 1,7 juta ton digunakan untuk insinerasi/*co-combustion* untuk pembangkitan kebutuhan panas perkotaan, sedangkan sisanya sebesar 0,1 juta ton dimanfaatkan di kiln semen. Berdasarkan data tersebut, terlihat bahwa sebagian besar kebutuhan bahan bakar limbah dalam negeri ditutupi oleh impor.

4.3.1.2 Italia

Pada tahun 2017, produksi RDF di Italia diperkirakan sekitar 4,49 juta ton dan fraksi *biodried* sebesar 0,15 juta ton. Sekitar 23% fraksi kering dan 78% fraksi *biodried* diinsenerasi, sedangkan 1,8% fraksi kering digunakan di fasilitas *co-incineration* khusus pembangkitan panas dan listrik.

4.3.2 Amerika

Penggunaan RDF di pembangkit listrik dan termal sebagai sebuah konsep di Amerika Serikat (AS) pertama kali muncul pada 1970-an dimana pembangkit eksisting berinisiatif menggunakan RDF sebagai bahan bakar tambahan di *boiler* PLTU. Namun, penggunaan RDF di pembangkit listrik memiliki hambatan teknis yang berhubungan dengan efisiensi *boiler*.

Pertimbangan penting untuk pembangkit listrik adalah suhu pembakaran dan stabilitas uap. Faktor yang mempengaruhi stabilitas uap dari PLTU yang menggunakan RDF sebagai bahan bakar adalah kalori RDF yang tidak seragam akan mempengaruhi volume *boiler* dan jumlah uap yang diproduksi, kadar air RDF yang tinggi menjadikan bahan bakar RDF kurang fleksibel dan operator mengalami kesulitan dalam kontrol udara pembakaran dan laju umpan yang tidak seragam.

Industri pembangkit di Amerika sampai saat ini telah melakukan beberapa uji coba menggunakan RDF untuk menggantikan batubara, dan mencapai substitusi termal hingga 10% di sektor ini.

4.3.3 Asia

4.3.3.1 Jepang

RDF yang diproduksi di Jepang masuk dalam kategori limbah rumah tangga dan komersial, menurut undang-undang nasional tentang limbah. Sampah yang akan dijadikan RDF dikeringkan dengan menambahkan bahan kimia dan dibuat pelet yang memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar nasional khusus (NCV >12.500 kJ/kg, kadar air < 20%).

RDF yang diproduksi di Jepang pada dasarnya digunakan di fasilitas WTE terutama pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik di suatu kota, selain pengguna akhir lainnya yang termasuk industri semen, industri pulp dan kertas, serta fasilitas pemanas distrik.

Bahan bakar sekunder dari sampah di Jepang dikenal dengan nama *Refuse derived Paper and plastics densified Fuel* (RPF), berbentuk pelet yang dihasilkan dari kertas dan limbah plastik kering serta limbah tidak berbahaya lainnya dari industri (sisa kayu, tekstil, dan aliran limbah karet diperbolehkan selama persyaratan kualitas bahan bakar standar terpenuhi). Standar nasional JIS Z7311:2010, yang diakui dan diterapkan di Jepang mengatur spesifikasi RPF, dan mengklasifikasikannya dalam empat "kelas" kualitatif.

Salah satunya disebut RPF-coke yang didefinisikan sebagai RPF berkualitas tinggi dengan nilai kalori >33 MJ/kg (dengan nilai yang lebih rendah untuk kadar air dan abu). Di Jepang sebagian besar produksi RPF digunakan untuk pembangkit listrik dan panas di pabrik kertas (60%) dan pabrik pewarna (35%).

4.3.3.2 Thailand

Dua belas pabrik SRF dilaporkan beroperasi di Thailand, hampir semuanya memproduksi SRF dalam bentuk pelet (kapasitas pabrik dari 25 ton/hari hingga 200 ton/hari). Selain itu, terdapat 4 pabrik SRF yang sedang dibangun dan 2 lainnya direncanakan akan dibangun.

Fasilitas gasifikasi/pirolisis RDF dibangun dengan perkiraan potensi konsumsi RDF sekitar 468 ton/hari. Pada tahun 2017, terdapat dua pabrik gasifikasi RDF menggunakan teknologi *Circulating Fluidized Bed* (CFB) dan gasifikasi dua tahap (yaitu *updraft* dan peleburan abu) bersama-sama memproses 259 ton/hari RDF atau 602 ton/hari *Municipal Solid Waste* (MSW).

4.3.3.3 India dan Cina

Negara-negara seperti India dan Cina yang harus mengelola sampah dalam jumlah besar serta memenuhi permintaan energi mulai mengembangkan sistem pengolahan sampah domestik menjadi SRF. Pertumbuhan intensif industri insinerasi di Cina, berfokus terutama pada teknologi *Bubbling Fluidised Bed* (BFB) yang dapat menjadi pengguna akhir SRF yang menjanjikan di negara tersebut.

4.4 Implementasi RDF di Industri Besi dan Baja

4.4.1 Asia

4.4.1.1 India

Industri baja India saat ini hanya memiliki sedikit pengalaman dalam pemanfaatan RDF sebagai sumber bahan bakar. Hal ini umumnya disebabkan oleh kekhawatiran terkait dengan kemungkinan dampak negatif terhadap proses produksi atau kualitas produk.

Para ahli di India menyatakan bahwa RDF dari sampah tidak dapat digunakan di industri besi dan baja karena proses industri ini bersifat *autogenous*. Penggunaan RDF sebagai bahan bakar dalam proses seperti *sinter making* atau tungku *reheating* juga tidak sesuai karena bahan bakar tungku tersebut berbentuk gas.

4.4.1.2 Jepang

RPF ditujukan terutama sebagai bahan bakar pengganti karena sifatnya (misalnya NCV > 25 MJ/kg) dan pengguna utama nasionalnya adalah industri kertas dan baja Jepang, diikuti oleh tanur semen. Federasi Besi dan Baja Jepang memperkirakan konsumsi limbah plastik (tidak secara khusus diidentifikasi sebagai RPF) dan limbah lainnya seperti limbah ban sekitar 450.000 ton pada tahun 2016, yang secara substansial tetap tidak berubah sejak tahun 2005.

Tidak ada data yang ditemukan pada penggunaan RPF dalam industri kertas. Khusus industri semen Jepang, statistik yang dipublikasikan di situs web Asosiasi Semen Jepang menunjukkan konsumsi RPF dan RDF yang tidak terlalu besar dan menurun setiap tahun dari sekitar 50.000-55.000 ton/tahun (2010–2014) menjadi 35.000-37.000 ton/tahun (2015–2016).

4.5 Implementasi RDF di Industri Pulp dan Kertas

4.5.1 Eropa

4.5.1.1 Jerman

Terdapat 196 pabrik pulp dan kertas di Jerman, dengan total kapasitas kertas 24 juta ton dan kapasitas pulp 8,5 juta ton, yang sebagian besar merupakan *de-inked pulp* (DIP) dari kertas daur ulang (5,1 juta ton). Tren terbaru pembangunan pulp dan kertas di Jerman adalah pemanfaatan bahan bakar limbah dalam produksi energi panas dan listrik (*Combined Heat and Power, CHP*). Setidaknya ada dua proyek yang sedang berjalan untuk pembangkit listrik CHP besar (>120 MWh) yang akan menggunakan RDF sebagai bahan bakar utama.

Salah satu contoh di BadenWürttemberg Jerman, pabrik kertas yang menggunakan pembangkit listrik CHP *fluidized bed* modern sebanyak 7 unit *boiler* dengan total kapasitas 1,1 juta ton SRF. Berdasarkan bank data Pöyry, terdapat 25 *boiler* yang menggunakan bahan bakar padat di industri pulp dan kertas di Jerman. Sebanyak 13 *boiler* berusia di atas 20 tahun dan dengan demikian sebagian besar akan mencapai usia penggantian sebelum tahun 2020. Sebanyak 23 *boiler* gas memiliki kapasitas di atas 40 MWth. *Boiler-boiler* tersebut menghadapi tekanan biaya dari kenaikan harga gas alam sehingga opsi untuk menggantinya dengan *boiler modern* berbahan bakar padat alternatif merupakan pilihan yang layak.

4.5.1.2 Negara Eropa selain Jerman

Konsumsi energi primer di industri pulp dan kertas Eropa sebesar 1.322.000 TJ pada tahun 2006 dimana biomassa mewakili 52% konsumsi energi. Sebagian besar biomassa yang digunakan untuk produksi energi di industri pulp dan kertas berupa residu produksi seperti kulit kayu, lindi hitam dan sisa-sisa kayu hutan. Perkembangan terakhir dalam investasi industri pulp dan kertas di Eropa telah

menuju teknologi produksi panas dan listrik/*Combined Heat and Power* (CHP) dimana teknologi pembakaran *Fluidized Bed* (FB) modern dengan nilai dan efisiensi uap tinggi telah diimplementasikan.

Industri pulp dan kertas memiliki sejumlah besar *boiler* bahan bakar padat di Eropa yang mencapai batas usia teknisnya pada tahun 2020, sehingga perlu diganti. Terdapat 37 *boiler* bahan bakar padat dengan kapasitas lebih dari 30 MWth di industri pulp dan kertas Eropa yang memiliki usia antara 15–25 tahun dan sebanyak 89 *boiler* di atas 25 tahun.

Sekitar 25% dari *boiler* yang berusia 15–25 tahun dan 50% di atas 25 tahun direncanakan diganti dengan *boiler* CHP efisiensi tinggi yang menggunakan SRF sebagai bahan bakar utama. Jumlah *boiler* yang dapat digantikan oleh unit CHP efisiensi tinggi, diperkirakan sebanyak 54 *boiler* dengan kapasitas rata-rata unit sebesar 64 MWth.



Gambar 4.6 Pembangunan RDF *boiler* di fasilitas pabrik kertas Sandersforf-Brehna, Jerman

Sumber: Sandersforf-Brehna, 2023

Pembangkit listrik berbahan bakar RDF akan dibangun di pabrik kertas berteknologi tinggi di Sandersforf-Brehna, Jerman, untuk memasok sebagian besar energi panas dan listrik pabrik. Untuk tujuan ini, bahan baku RDF berasal dari proses produksi internal pabrik serta dari sekitar area pabrik.

Dengan instalasi ini, maka pabrik kertas tersebut telah menghemat emisi GRK sebesar 80.000 ton CO₂ setiap tahunnya. Dengan estimasi tersebut, industri pulp dan kertas di Jerman berpotensi menjadi pengguna signifikan RDF dengan kapasitas pengolahan 8–13 juta ton. Potensi tertinggi ditemukan di Jerman, Finlandia dan Swedia di mana terdapat sejumlah besar *boiler* industri kertas menggunakan bahan bakar padat.



Gambar 4.7 Pembangunan RDF *boiler* di fasilitas Pabrik Kertas Condap Paper Mill, Prancis

Sumber: Lecta, 2023

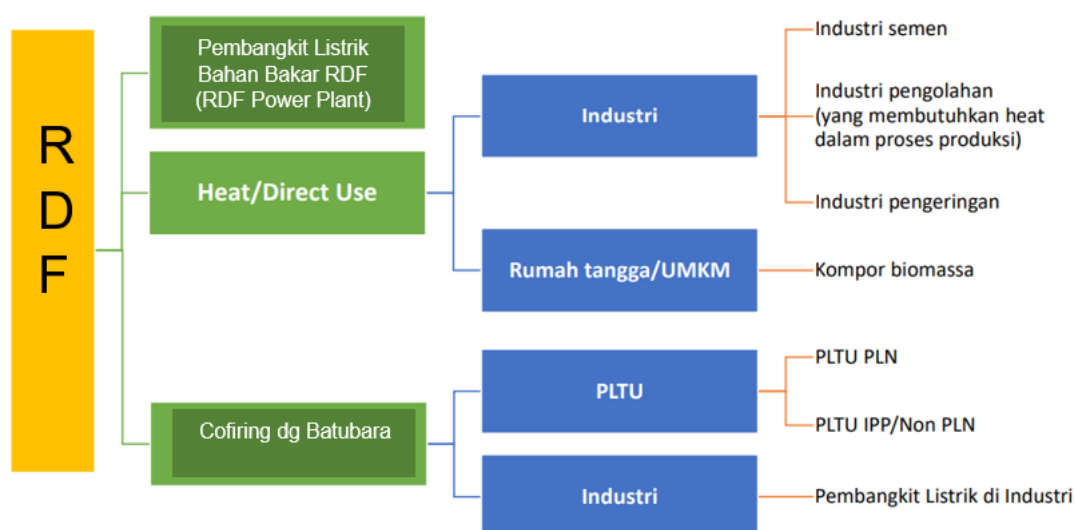
Lecta berinvestasi pada *boiler* berbahan bakar RDF untuk Pabrik Kertas Condap di Prancis, yang diperkirakan selesai konstruksi pada pertengahan tahun 2024. Proyek *boiler* RDF mengacu pada ekonomi sirkular di mana Lecta akan mengumpulkan sampah dengan kandungan biogenik tinggi dari sumber lokal sebagai bahan baku RDF.

Dari segi energi, *boiler* baru ini akan memenuhi sekitar 50% kebutuhan *steam* untuk pabrik. Hal ini akan meningkatkan daya saing pabrik karena pembangkitan uap dengan bahan bakar RDF jauh lebih murah dibandingkan dengan gas alam. *Boiler* baru ini akan memastikan pasokan uap yang stabil, hemat biaya, dan 100 persen terbarukan dalam jangka panjang sebagai alternatif sumber energi fosil seperti gas alam. Selain pengurangan emisi CO₂ sebanyak 55.000 ton per tahun, proyek ini akan berkontribusi pada kemajuan ekonomi sirkular. Pembiayaan proyek dilakukan oleh Kyotherm, salah satu pelaku paling aktif di sektor proyek energi terbarukan di Eropa, yang akan membiayai hingga EUR 45 juta dari total belanja modal proyek sebesar EUR 56 juta.

BAB 5 POTENSI INDUSTRI PEMANFAAT RDF DI INDONESIA

Industri yang berpotensi menjadi pemanfaat RDF adalah industri pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar RDF (*RDF Power Plant*), industri pengguna bahan bakar padat seperti batubara, dan/atau bahan bakar padat lainnya sebagai penghasil panas seperti industri semen, industri pengolahan, industri pengeringan, industri yang menggunakan batubara dan/atau biomassa untuk penggunaan bersama (*co-firing*) dengan batubara untuk menghasilkan listrik melalui *boiler* seperti Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

Skema industri yang berpotensi menjadi pemanfaat RDF di Indonesia digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5.1 Industri potensial pemanfaat RDF

Industri yang berpotensi memanfaatkan RDF sebagai penghasil panas adalah industri yang menggunakan kiln atau tungku pembakaran seperti industri semen, kapur, kerupuk, genteng, tahu, dan sebagainya.

Pemanfaat RDF lainnya yang teridentifikasi adalah industri pengguna *boiler*. *Boiler* pada industri pengolahan menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk *steam* ke suatu proses. Berbagai sektor industri yang memerlukan energi panas dengan memanfaatkan *boiler*, antara lain adalah industri pupuk, makanan dan minuman, kelapa sawit, farmasi, karet, kimia dan petrokimia, kertas dan pulp, pakan ternak, dan sebagainya.

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada tahun 2021 mengidentifikasi peluang RDF sebagai substitusi bahan bakar industri pengguna batubara dan industri pengguna bahan bakar padat lainnya. Untuk kategori pertama, BPPT mengidentifikasi industri pengguna batubara yang berpotensi menggunakan bahan bakar RDF sebagai bahan bakar alternatif, antara lain adalah industri semen, tekstil, baja, pupuk, dan kertas.

Industri pengguna bahan bakar padat yang berpotensi menggunakan bahan bakar RDF sebagai bahan bakar alternatif adalah industri gula, bata/genteng, dan kapur. Namun demikian, tidak semua industri tersebut direkomendasikan menjadi industri yang dapat memanfaatkan RDF karena kesiapan teknologi, sumber daya manusia, dan pertimbangan keamanan bagi lingkungan.

Hingga saat ini, di Indonesia, RDF baru dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif di kiln semen dan dalam proses uji coba *co-firing* di PLTU untuk pembangkit listrik. KLHK memperkirakan potensi pemanfaatan RDF oleh PLTU hingga sebesar 8.000 ton/hari sedangkan industri semen berpotensi untuk memanfaatkan sekitar 3.000 ton RDF/hari. Namun demikian, beberapa tantangan masih dihadapi dalam implementasi pemanfaatan RDF di Indonesia (Kementerian Perindustrian, 2022).

5.1 Potensi Pemanfaatan RDF di Industri Pembangkit

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, untuk mencapai target bauran energi baru dan terbarukan sebesar 23% terhadap total pemakaian energi primer pada tahun 2025 sekaligus mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari sektor energi, Pemerintah Indonesia membuat beberapa rencana aksi, di antaranya adalah: (1) Moratorium investasi PLTU batubara, (2) *Phase out* PLTU batubara tahun 2050, dan (3) Implementasi *co-firing*. Pilihan terakhir dianggap sebagai pilihan yang dapat dilaksanakan dalam waktu lebih dekat. Rencana implementasi *co-firing* dilakukan dengan campuran bahan bakar sampah sebesar 1% hingga 5% suplai energi batubara. Kebijakan *co-firing* juga telah tercantum dalam Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional (RUKN) 2019-2038.

Boiler yang dimiliki PLTU PT PLN terdiri dari 3 jenis teknologi *boiler* yaitu *Pulverized Coal* (PC), *Circulating Fluidized Bed* (CFB), dan *Stoker*, dengan jumlah unit masing-masing 43-unit *boiler* PC, 38-unit *boiler* CFB dan 23-unit *boiler* *Stoker*, total kapasitas terhitung oleh PLN sebesar 13.143 MW.

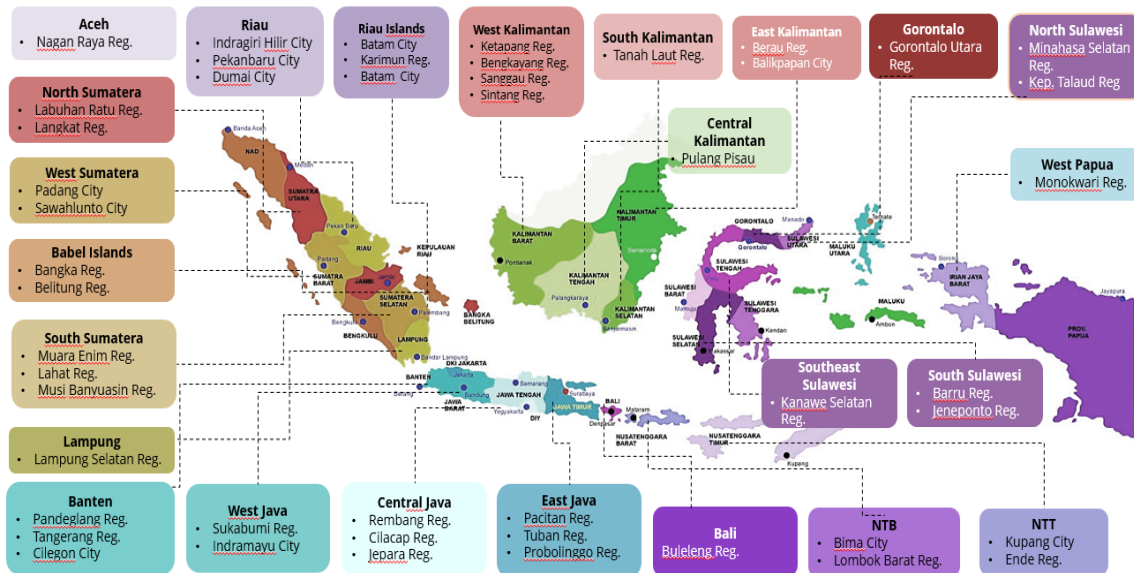
Jika diasumsikan kapasitas faktor rata-rata dan efisiensi rata-rata pembangkit adalah 70% dan 30%, maka potensi energi yang dibangkitkan adalah 80.592 GWh, dan energi yang dibutuhkan adalah 268.642 GWh ($9,67 \times 10^8$ GJ). Dengan demikian, jika energi pembangkitan disuplai oleh batubara dengan nilai kalori 4.500 kkal/kg, maka dibutuhkan suplai batu bara sekitar 51×10^6 ton/tahun.

Jika 1% dari energi batubara seluruh PLTU akan digantikan oleh RDF, yakni sebesar $9,67 \times 10^8$ GJ, dengan asumsi nilai kalor RDF sebesar 3.000 kkal/kg, maka jumlah kebutuhan RDF untuk substitusi panas 1% adalah sebesar 770.607 ton/tahun. Untuk substitusi panas sebesar 5% dari energi batubara, maka dibutuhkan RDF sebesar 3.853.032 ton/tahun.

Tantangan implementasi RDF untuk *co-firing* PLTU di Indonesia adalah volume RDF yang dibutuhkan sangat besar sehingga diperlukan *sustainability feedstock* RDF untuk menjaga keandalan pasokan tenaga listrik, harga RDF untuk menjaga Biaya Pokok Produksi (BPP) dan *affordability* tarif tenaga listrik.

Untuk memberikan pasokan RDF bagi kebutuhan *co-firing* PLTU, maka diperlukan pembangunan fasilitas RDF. Hal ini akan membuat suplai RDF menjadi lebih terjamin dengan kontrak jangka panjang antara operator RDF dan PLTU. Kepastian pembelian ini sangat dibutuhkan untuk operator dalam mengembangkan infrastruktur seperti pembangunan fasilitas RDF, serta sarana transportasi dari fasilitas ke PLTU. Pihak PLTU juga membutuhkan kepastian suplai RDF yang sesuai dengan kriteria kontrak yang berkelanjutan dalam jangka panjang.

Pengurangan emisi GRK dari *co-firing* membutuhkan pembuktian detail terutama terkait penambahan emisi GRK pada proses pengolahan sampah menjadi RDF dan transportasi pada PLTU. Kementerian PUPR telah mengidentifikasi sebaran Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) di kota/kabupaten terdekat dengan PLTU yang berpotensi memanfaatkan RDF seperti gambar di bawah ini.



Gambar 5.2 Sebaran TPA di kota/kabupaten terdekat dengan PLTU di Indonesia

Sumber: Kementerian PUPR, 2021

Pemanfaatan RDF pada pembangkit listrik untuk saat ini belum dapat dilakukan secara penuh karena masih dalam tahap uji coba *co-firing*. Selain itu terdapat tantangan ketersediaan RDF untuk operasional jangka panjang di lokasi PLTU, serta tantangan spesifikasi RDF dari sampah untuk memenuhi spesifikasi bahan bakar jumputan padat yang menjadi persyaratan PT. PLN.

Kandungan RDF, misalnya natrium (Na), kalium (K), dan klorin (Cl) yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara, diduga dapat menyebabkan peningkatan pengendapan abu pada *boiler*. Kendala tersebut menjadi tantangan bagi pemerintah dalam membuat kebijakan terbaik yang dapat memacu pemanfaatan RDF dalam *co-firing* di sektor ketenagalistrikan.

5.2 Potensi Pemanfaatan RDF di Sektor Industri Pengolahan

Kementerian ESDM melaporkan pada tahun 2021, batubara merupakan energi terbesar kedua setelah gas dengan presentase 33,25% atau sejumlah 87,8 Setara Barel Minyak (SBM).

Year	Biomass ¹⁾	Coal	Briquette	Gas	Fuel		Fuel				LPG	Electricity	Total
					Kerosene	Gasoli CN 48	Biogasoil ²⁾	MDF	Fuel Oil	Total Fuel			
2012	42,732	123,022	130	95,599	468	49,515	0	507	20,223	70,713	621	36,888	369,705
2013	44,399	42,729	130	96,817	427	46,822	0	438	11,642	59,328	693	39,466	283,561
2014	45,188	55,064	58	95,649	329	42,330	0	337	11,112	54,108	753	40,402	291,221
2015	44,828	70,228	50	93,557	261	29,647	0	294	9,717	39,917	788	39,281	288,650
2016	43,977	63,504	107	75,820	203	27,650	0	233	11,812	39,899	821	41,773	265,900
2017	44,340	58,800	107	87,556	208	24,905	0	544	12,264	37,921	888	44,282	273,895
2018 ³⁾	43,176	100,506	36	93,939	203	18,517	0	394	13,174	32,288	934	57,338	328,217
2019 ³⁾	42,862	167,412	28	92,958	192	1,099	13,323	314	9,883	24,811	959	57,794	386,825
2020 ³⁾	52,164	113,416	188	96,400	178	2,048	12,449	234	7,669	22,578	991	54,172	339,909
2021	53,461	87,820	0	88,481	177	3,706	13,473	301	8,118	25,776	1,057	60,973	317,568

Note: 1) Estimation Data
2) Based on Regulation of the Minister of Energy and Mineral Resources No. 12 year 2015 regarding to mandatory of minimum biodiesel utilization as blending product of gasoli by 30% in 2020
3) Revised data

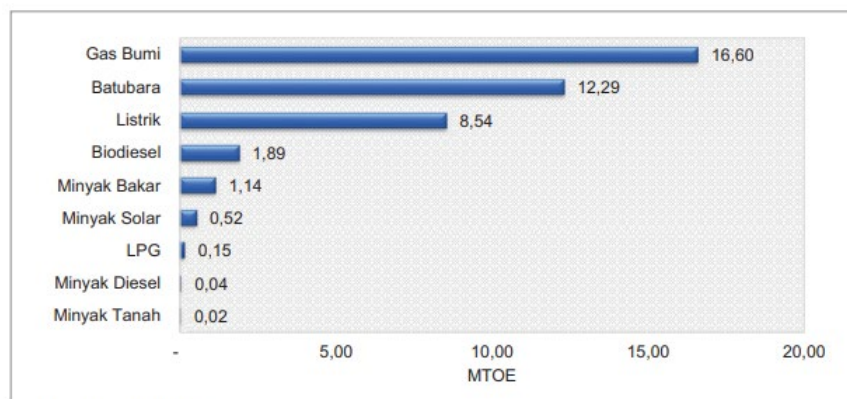
Gambar 5.3 Total konsumsi energi industri 2021

Sumber: Kementerian ESDM, 2022

BPPT mencatat terdapat 6 (enam) sub sektor industri lahap energi yaitu industri semen, logam, makanan dan minuman, pupuk, keramik serta kertas. Total permintaan energi enam industri ini mencapai 87% dari total pemakaian energi di sektor industri.

Di sisi lain, Kementerian Perindustrian (Kemenperin) menyatakan terdapat delapan industri lahap energi, yaitu industri baja, industri semen, industri pupuk, industri keramik dan kaca, industri pulp dan kertas, industri tekstil, industri kimia, serta industri makanan dan minuman. Biaya energi delapan industri tersebut lebih besar dari biaya tenaga kerja, serta menempati peringkat kedua setelah biaya bahan baku (Kemenperin, 2018).

Kemenperin melaporkan bahwa konsumsi energi pada sektor industri pada tahun 2021 mencapai 41,2 MTOE dengan konsumsi energi terbesar adalah gas bumi sebesar 40,3%, disusul batubara sebesar 29,9%, dan listrik sebesar 20,7%. Konsumsi gas pada sektor industri terutama digunakan untuk industri keramik, petrokimia, pupuk, dan industri lainnya. Batubara pada umumnya digunakan untuk industri semen, tekstil, kertas serta industri lainnya. Rincian penggunaan energi pada sektor industri terlihat pada gambar di bawah ini:

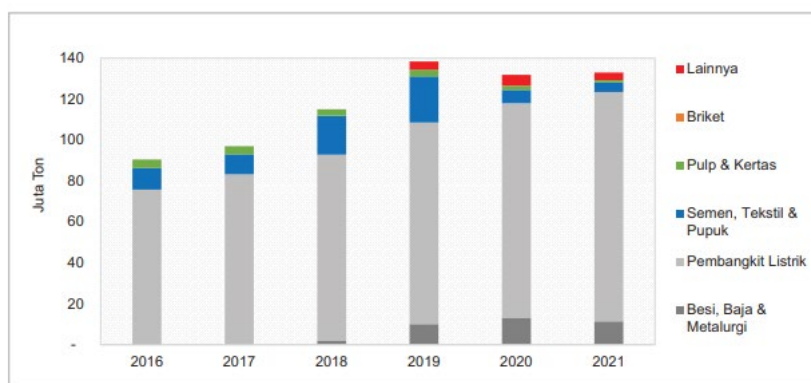


Sumber: HEESI, 2021

Gambar 5.4 Konsumsi energi final di sektor industri

Gas bumi dan batubara diperkirakan masih menjadi sumber energi utama di sektor industri hingga tahun 2050. Gas bumi merupakan bahan bakar utama yang digunakan untuk memenuhi permintaan industri logam, pupuk, dan keramik. Batubara sebagian besar dikonsumsi oleh industri semen. Biomassa terutama dimanfaatkan untuk industri makanan dan kertas. Industri pulp dan kertas memanfaatkan biomassa cangkang kelapa sawit, jerami padi, biogas, dan lindi hitam (*black liquor*) sebagai bahan bakar pengganti batubara.

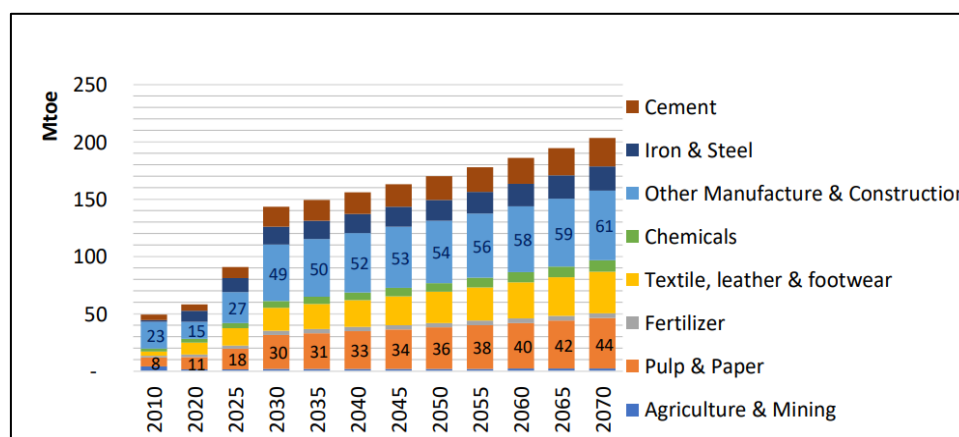
Tren konsumsi batubara dalam 5 tahun terakhir menunjukkan peningkatan dari sekitar 90,5 juta ton pada tahun 2016, meningkat menjadi 133 juta ton pada tahun 2021 atau tumbuh rata-rata 8% per tahun. Namun demikian, pada tahun 2021 konsumsi batubara domestik di sektor industri besi, baja dan metalurgi, industri semen, tekstil dan pupuk, industri pulp dan kertas, serta briket mengalami penurunan dibandingkan dengan konsumsi batubara tahun 2020. Tren penurunan konsumsi batubara pada industri semen, tekstil dan pupuk yaitu dari 6,5 juta ton pada tahun 2020, turun menjadi sekitar 4,7 juta ton pada tahun 2021.



Sumber: HEESI, 2021

Gambar 5.5 Konsumsi batubara berdasarkan Sektor dan Industri 2016 – 2021

Proyeksi kebutuhan energi final untuk sektor industri disajikan dalam Kebijakan Energi Nasional (KEN), diperkirakan mencapai sekitar 195 MTOE pada tahun 2050 sebagai berikut:



Gambar 5.6 Proyeksi kebutuhan energi final untuk sektor industri

Sumber: KEN, 2023

Berdasarkan karakteristiknya, RDF dianggap sebagai bahan bakar alternatif pengganti batubara sehingga bisa dimanfaatkan oleh industri pengguna batubara seperti industri semen, tekstil, baja, pupuk, pulp dan kertas.

RDF juga memiliki potensi dimanfaatkan oleh industri pengguna bahan bakar padat seperti biomassa sehingga bisa dimanfaatkan oleh kiln atau *boiler* yang digunakan oleh beberapa industri seperti industri gula, tahu, bata/genteng, kapur, mie instan, pakan ternak dan industri skala menengah/kecil lainnya seperti industri kerupuk. Pada kajian ini, identifikasi dibatasi pada industri yang memiliki sistem pengendalian emisi yang memadai, yaitu industri semen, industri pupuk, industri pulp kertas, dan industri besi baja.

5.2.1 Industri Semen

5.2.1.1 Kebutuhan Energi di Industri Semen

Pemanfaatan RDF sebagai bahan bakar alternatif di industri semen memiliki sejarah panjang di dunia. Tingkat substitusi pemanfaatan RDF di pabrik semen di Austria mencapai 65,3 %, Jerman 61,1 %, Uni Eropa 27 %, Amerika Utara 11 %, Jepang 11 %, Australia 11 % dan di Indonesia saat ini kurang dari 1%.

Indonesia saat ini memiliki 16 perusahaan semen dengan kapasitas terpasang pada tahun 2022 sebesar 118,9 juta ton/tahun. Kiln semen dari 16 perusahaan tersebut berjumlah 48 kiln dan seluruhnya merupakan kiln dengan teknologi kering, sebagian kiln memiliki sistem pembakaran dengan *pre-heater*, *pre-heater* dengan *pre-calciner* (ILC dan/atau SLC) yang terdiri dari 4 (empat) atau 5 (lima) *stage*.



Gambar 5.7 Peta sebaran lokasi pabrik semen di Indonesia

Sumber: ASI, 2023

Kebutuhan total energi di pabrik semen di Indonesia pada tahun 2022 diperkirakan sekitar 240.128.145,5 GJ untuk produksi semen dan 235.176.554,9 GJ untuk produksi klinker. Produksi klinker tahun 2022 sebesar 54.647.427 ton. Kebutuhan energi panas saja sekitar 186.877.229 GJ untuk produksi klinker.

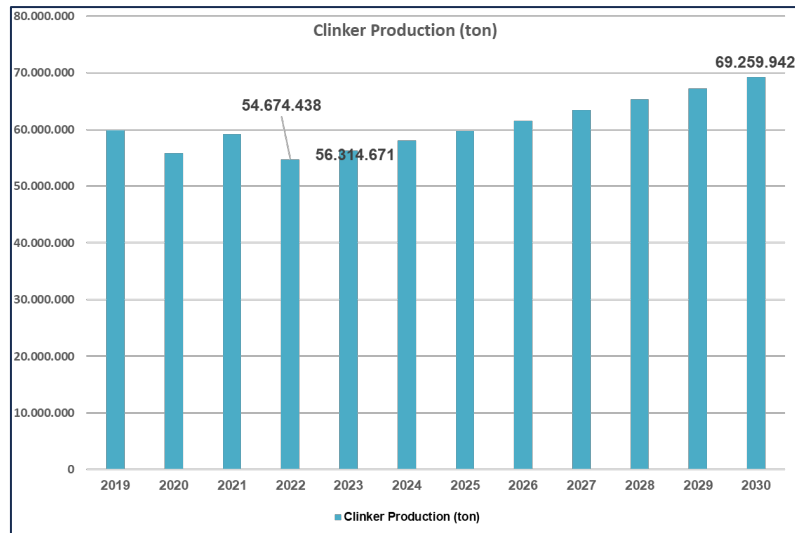
Di industri semen, penggunaan energi dominan berupa energi panas hingga 80% dari total energi, sedangkan energi listrik sekitar 20% dari total kebutuhan energi. Kebutuhan energi panas sebagian besar dipenuhi oleh batubara, sedangkan sisanya dipenuhi dari *Industrial Diesel Oil* (IDO), biomassa, dan limbah. Tabel berikut memberikan gambaran kebutuhan batubara industri semen di Indonesia tahun 2022.

Tabel 5.1 Kebutuhan dan spesifikasi batubara industri semen

No.	Nama Perusahaan	Lokasi Pabrik	Kebutuhan Batubara (ton)	GAR (kcal/kg)	TS (%), ar	TM (%), ar	Ash (%), ar
1	PT Semen Baturaja Tbk	Baturaja, Sumatera Selatan	253.000	4.000 - 4.500	maks 1	30	6
2	PT Cemindo Gemilang Tbk	Bayah, Lebak Banten	1.500.000	3.800 - 4.800	0,2 - 0,8	35-37	4-7
3	PT Semen Padang	Indarung, Padang, Sumatera Barat	1.500.000	4.000	0,8	35-36	15
4	PT Semen Indonesia Tbk	Tuban, Jawa Timur	1.700.000	4.200	0,5	38	5-6
5	PT Semen Gresik	Rembang, Jawa Tengah	350.000	3.800	0,5	39	5-6
6	PT Semen Tonasa	Biringere, Pangkep, Sulawesi Selatan	1.500.000	4.200	0,5	36	5-6
7	PT Solusi Bangun Indonesia Tbk		1.800.000	4.200	0,5	36	5-6
		Narogong, Jawa Barat		4.100			
		Tuban, Jawa Timur		4.100			
		Cilacap, Jawa Tengah		4.100			
		Lhoknga, Daerah Istimewa Aceh		5000			
8	PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk		2.000.000	4.000 - 4.200	0,2-0,4	35-37	5-7
			375.000	>4.200 - 5000	0,5-0,8	25-30	6-8
		Citeureup, Bogor, Jawa Barat					
		Palimanan, Cirebon, Jawa Barat					
		Tarjun, Kalimantan Selatan					
9	PT Semen Bosowa Maros	Maros, Sulawesi Selatan	125.000	3.800 - 4.000	0,6-1	38-40	6-10
10	PT Juishin Indonesia	Karawang, Jawa Barat	200.000	4.000	0,2-0,4	35-37	4-6
			50.000	5.000	0,8-1,5	15-20	10-13
11	PT Semen Jawa	Gunungguruh, Sukabumi, Jawa Barat	334.426	4.200			
			231.143				
12	PT Sinar Tambang Arthalestari	Banyumas, Jawa Tengah		4.200			
13	PT Conch Cement Indonesia		918.484	3.800			
		Tabalong, Kalimantan Selatan					
		Bolaang Mangondow, Sulawesi Utara					
		Manokwari, Papua					
14	PT Semen Kupang	Alak, Kupang, NTT					
15	PT Semen Imasco Asiatic	Puger, Jawa Timur	384.241	4.800 - 6.000			
			13.221.293	3.800 - 6.000	0,2-1,5	15-40	4-13

Sumber: ASI, 2023

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa kebutuhan batubara pabrik semen sangat besar atau dengan kapasitas terpasang membutuhkan lebih dari 13 juta ton batubara setahun. Gambar berikut memproyeksikan produksi klinker hingga tahun 2030 dengan rata-rata pertumbuhan 3%.



Gambar 5.8. Proyeksi produksi klinker di Indonesia

Sumber: ASI, 2022

Produksi klinker pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 69,3 juta ton pada tahun 2030 dengan asumsi kebutuhan panas sebesar 3400 MJ/ton klinker maka kebutuhan panas untuk produksi klinker pada tahun 2030 sebesar 235.483.803 GJ.

5.2.1.2 Potensi Pemanfaatan RDF di Industri Semen

RDF menjadi salah satu alternatif bahan bakar yang didorong untuk dimanfaatkan di pabrik semen di Indonesia karena memiliki beberapa manfaat lingkungan seperti:

- Mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang tidak terbarukan seperti batubara, dan mengurangi dampak lingkungan yang terkait dengan ekstraksi bahan-bahan alami;
- Memberikan kontribusi terhadap penurunan emisi seperti GRK dengan mengganti penggunaan bahan bakar fosil dengan bahan yang lain akan harus dibakar dengan emisi dan residu akhir yang sesuai.

Pada tahun 2022, laju substitusi panas (*Thermal Substitution Rate/TSR*) bahan bakar alternatif di kiln semen mencapai 7,8%, sedangkan pemanfaatan RDF kurang dari 1% karena keterbatasan pasokan. Kementerian ESDM memperkirakan potensi pemanfaatan RDF di industri semen dengan TSR sekitar 5% mencapai 3.425 ton per hari. Jumlah ini diperkirakan dapat lebih lanjut ditingkatkan melihat beberapa pabrik semen di Indonesia telah membuat target TSR lebih dari 10% di tahun 2030.

Dengan asumsi TSR untuk RDF 5% saja maka pada tahun 2030 diperlukan sebesar 938.182 ton RDF dalam satu tahun atau setara dengan 3.127 ton per hari. Tabel berikut ini memberikan data potensi pemanfaatan RDF di pabrik semen dengan TSR 5%.

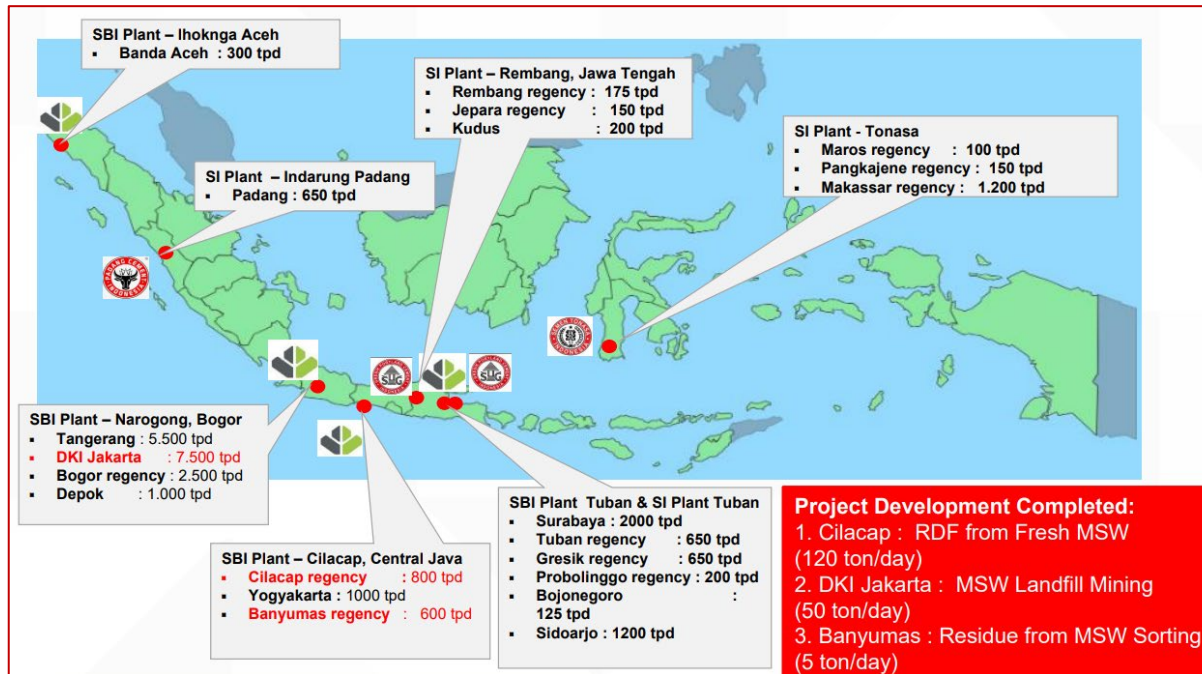
Tabel 5.2 Potensi pemanfaatan RDF di Semen Indonesia Group

Perusahaan	Pabrik	Kiln Line	Lokasi	Kapasitas Produksi Klinker (ton/tahun)	Konsumsi Panas (MJ/ton klinker)	Total Panas (MJ/tahun)	Volume RDF (ton per tahun)	Volume RDF (ton per hari)
Semen Indonesia Group (SIG)	Semen Padang	Indarung 2	Indarung Padang, Sumbar	630.000	4.481	2.823.030.000	11.245	34,1
		Indarung 3		630.000	4.481	2.823.030.000	11.245	34,1
		Indarung 4		1.620.000	4.305	6.974.100.000	27.781	84,2
		Indarung 5		2.490.000	4.094	10.194.060.000	40.607	123,1
		Indarung 6		2.400.000	3.936	9.446.400.000	37.629	114,0
	Semen Indonesia Tuban	Tuban 1	Tuban, Jawa Timur	2.700.000	3.556	9.602.280.000	38.250	115,9
		Tuban 2		2.550.000	3.556	9.068.820.000	36.125	109,5
		Tuban 3		2.550.000	3.556	9.068.820.000	36.125	109,5
		Tuban 4		2.400.000	3.556	8.535.360.000	34.000	103,0
	Semen Tonasa	Tonasa 2	Pangkep, Sulawesi Selatan	570.000	4.779	2.724.030.000	10.851	32,9
		Tonasa 3		570.000	4.779	2.724.030.000	10.851	32,9
		Tonasa 4		2.310.000	4.006	9.253.860.000	36.862	111,7
		Tonasa 5		2.400.000	3.989	9.573.600.000	38.136	115,6
	Semen Gresik	Rembang	Rembang, Jawa Tengah	2.400.000	3.709	8.901.114.062	35.457	107,4
	SBI	Narogong 1	Narogong Bogor, Jawa Barat	1.380.000	3.392	4.681.193.484	18.647	56,5
		Narogong 2		2.340.000	3.382	7.914.865.396	31.528	95,5
		Cilacap	Cilacap, Jawa Tengah	2.340.000	3.286	7.688.283.905	30.626	92,8
		Tuban 1	Tuban, Jawa Timur	1.200.000	3.095	3.714.292.139	14.796	44,8
		Tuban 2		1.200.000	3.213	3.855.932.773	15.360	46,5
		Lhoknga	Lhoknga, Aceh	1.080.000	3.751	4.051.493.342	16.139	48,9
Total SIG				35.760.000	76.902	133.618.595.101	532.260	1.612

Tabel 5.3 Ringkasan potensi pemanfaatan RDF di Semen Indonesia Group.

Cement Company	Kapasitas Klinker (ton/tahun)	TSR (%)	Volume RDF		Volume MSW Ekvivalen	
			Ton per Tahun	Ton per Hari	Ton per Tahun	Ton per Hari
Semen Indonesia Group	35.760.000	5	532.260	1.612,91	1.520.742,86	4.608

Potensi pemanfaatan RDF di pabrik semen yang dimiliki Semen Indonesia Group sebesar 532.260 ton per tahun atau sebesar 1.612 ton per hari.



Gambar 5.9 Peta potensi pemanfaatan RDF dari pengolahan sampah di Semen Indonesia Group

Sumber: Semen Indonesia Group, 2022

Tabel 5.4 Potensi pemanfaatan RDF di pabrik semen selain Semen Indonesia Group.

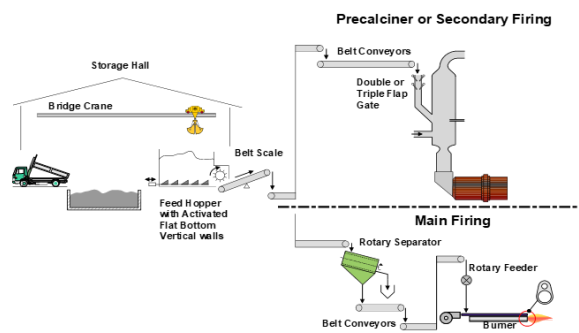
Perusahaan	Pabrik	Kiln Line	Lokasi	Produksi Klinker (ton/tahun)	Konsumsi Panas (MJ/ton klinker)	Total Panas (MJ/tahun)	Volume RDF (ton/ tahun)	Volume RDF (ton /hari)
PT Indocement Tunggal Prakasa Tbk.	Indocement - Citeureup	P1, P2, P3,P4, P5, P6, P7, P8, P11, P14	Citeureup, Bogor, Jawa Barat	12.466.940	3.300	41.140.902.000	163.882	496,61
	Indocement - Palimanan	P9, P10	Cirebon, Jawa Barat	2.934.692	3.350	9.831.218.200	39.162	118,67
	Indocement - Tarjun	P12	Kotabaru, Sulawesi Selatan	1.951.728	3.350	6.538.288.800	26.045	78,92
PT Semen Bosowa	Semen Bosowa-Maros	Bosowa 1, Bosowa 2	Maros, Sulawesi Selatan	3.098.412	3.300	10.224.759.600	40.730	123,42
PT Jui Shin	Jui Shin - Karawang	-	Karawang, Jawa Barat	1.380.868	3.250	4.487.821.000	17.877	54,17
PT Cemindo Gemilang Tbk.	Semen Merah Putih	Bayah 1	Bayah, Banten	3.145.424	3.200	10.065.356.800	40.095	121,50
		Bayah 2	Bayah, Banten	3.145.424	3.200	10.065.356.800	40.095	121,50
PT Sinar Tambang Arthalestari	Semen Bima	-	Ajibarang, Banyumas, Jawa Tengah	1.534.460	3.250	4.986.995.000	19.865	60,20
PT Semen Jawa/ Siam Cement Group	SCG	-	Sukabumi, Jawa Tengah	1.611.256	3.250	5.236.582.000	20.860	63,21
Conch Cement Indonesia	Anhui Conch	-	Kalses	2.147.076	3.200	6.870.643.200	27.369	82,94
	Conch Semen Indonesia	-	Sulsel	2.147.076	3.200	6.870.643.200	27.369	82,94

Perusahaan	Pabrik	Kiln Line	Lokasi	Produksi Klinker (ton/ tahun)	Konsumsi Panas (MJ/ton klinker)	Total Panas(MJ/tahun)	Volume RDF (ton/ tahun)	Volume RDF (ton /hari)
	Anhui Conch	-	Sulut	3.102.500	3.200	9.928.000.000	39.547	119,84
PT Semen Baturaja Tbk.	Semen Baturaja	Baturaja 1	Oku, Sumsel	1.200.000	3.452	4.142.160.000	16.500	50,00
		Baturaja 2	Oku, Sumsel	1.500.000	3.138	4.707.000.000	18.750	56,82
PT Semen Kupang	Semen Kupang	SK 2	Kupang, NTT	300.000	3.200	960.000.000	3.824	11,59
PT Singa Merah	Singa Merah		Jember, Jatim	2.500.000	3.200	8.000.000.000	31.867	96,57
PT Semen Grobogan	Semen Grobogan		Grobogan, Jateng	1.900.000	3.200	6.080.000.000	24.219	73,39
	Total Pabrik Semen Selain SIG			46.065.856		150.135.726.600	598.055	1.812

Potensi pemanfaatan RDF di pabrik semen diluar Semen Indonesia Group sebesar 598.055 ton per tahun atau sebesar 1.812 ton per hari

Pada saat ini belum semua pabrik semen di Indonesia siap untuk memanfaatkan bahan bakar alternatif termasuk RDF. Beberapa pabrik yang belum memanfaatkan bahan bakar alternatif pada tahun 2022 adalah PT Semen Bosowa, PT Sinar Tambang Arthalestari, PT Semen Kupang, PT Conch Cement Indonesia, PT Singa Merah, dan PT Semen Grobogan.

Pabrik semen yang akan memanfaatkan RDF sebagai bahan bakar alternatif setidaknya perlu menyiapkan fasilitas penyimpanan, sistem *de-dusting*, dan pengumpanan RDF ke sistem pembakaran di kiln. Pengeluaran RDF dari fasilitas penyimpanan umumnya menggunakan *bridge crane* atau *front loader*. Dari *hopper* RDF ditimbang dalam *belt scale* kemudian ditransportasikan menuju sistem pembakaran menggunakan *belt conveyor*. Pengumpanan RDF ke *pre-calcliner* atau saluran *riser pre-heater* dapat menggunakan *triple flap gate*.



Gambar 5.10 Persyaratan minimum fasilitas pemanfaatan RDF di pabrik semen
Sumber: Holcim, 2015

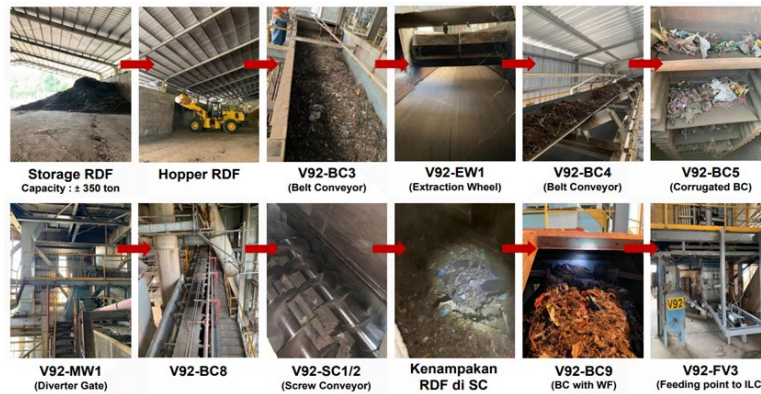
Berikut peralatan penyimpanan dan pengumpanan minimal yang harus disiapkan untuk pabrik semen yang akan memanfaatkan RDF.

Tabel 5.5 Peralatan penyimpanan dan pengumpanan RDF di Pabrik Semen

Solid AF include RDF	
<i>Storage</i>	<i>Closed storage</i>
<i>Dosing system</i>	<i>Feed hopper</i>
<i>Separation oversize pieces</i>	<i>Rotary separator</i>
<i>Transport</i>	<i>Belt conveyor</i>
<i>Injection</i>	
<i>Feeding into system</i>	<i>Triple flap gate</i>

Sumber: SBI, 2022

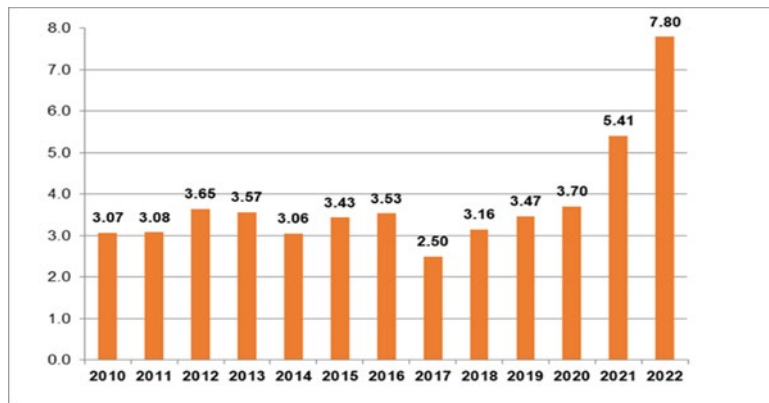
Di dalam sistem pembakaran pabrik semen, RDF umumnya diumpankan melalui *In-line Calciner* (ILC) ataupun *Separate-Line Calciner* (SLC). Ukuran RDF mempengaruhi keputusan pemilihan lokasi pengumpanan RDF. Berikut ini contoh sistem pengumpanan RDF di pabrik semen di Cilacap.



Gambar 5.11 Sistem pengumpanan RDF di Pabrik Cilacap

Sumber: PT SBI, 2022

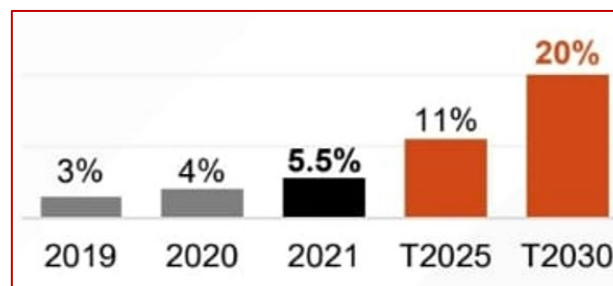
Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, rata-rata TSR industri semen di tahun 2022 sebesar 7,8 %, atau 14.492.498 GJ, dipenuhi oleh bahan bakar alternatif berupa limbah industri termasuk limbah B3, limbah biomassa, dan RDF.



Gambar 5.12 Tren TSR industri semen

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2023

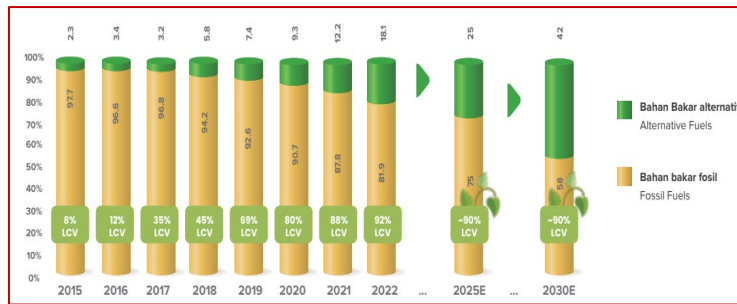
Dalam rangka pemenuhan target pengurangan emisi GRK dan reduksi biaya energi, Semen Indonesia Group dengan pangsa kapasitas sekitar 50% telah membuat target TSR sebesar 20% di tahun 2030.



Gambar 5.13. Target TSR Semen Indonesia Group

Sumber: SIG, 2023

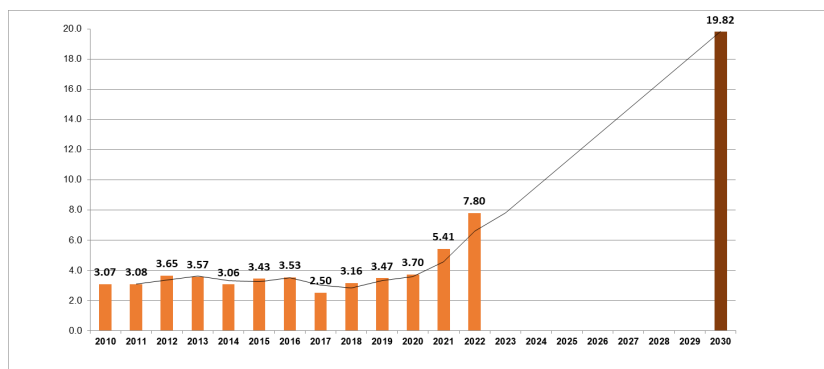
Indocement dengan pangsa kapasitas sekitar 21% di Indonesia telah membuat target TSR sebesar 42% di tahun 2030.



Gambar 5.14 Target TSR Semen Indonesia Group

Sumber: Indocement, 2023

Berdasarkan target di atas, Asosiasi Semen Indonesia (ASI) memproyeksikan TSR rata-rata nasional di tahun 2030 sebesar 19,82%.



Gambar 5.15 Proyeksi TSR industri semen tahun 2030

Sumber: ASI, 2023

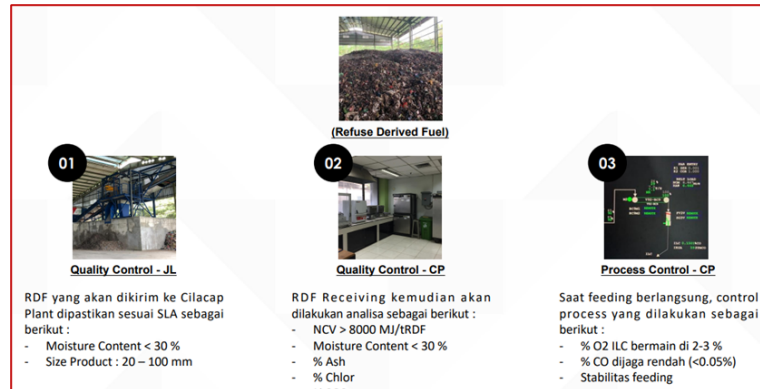
Memperhatikan proyeksi peningkatan TSR yang cukup signifikan, industri semen merupakan pengguna potensial RDF lebih dari 5% di tahun 2030.

5.2.1.3 Tantangan Pemanfaatan RDF di Industri Semen

Bahan bakar alternatif seperti RDF memiliki karakteristik pembakaran, sifat fisis, dan kimia yang berbeda dengan batubara. RDF memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan dengan batubara. Batubara yang digunakan industri semen memiliki nilai kalor sekitar 4.500 – 5.000 kkal/kg, sedangkan nilai kalor RDF berada di kisaran 2.500 – 3.500 kkal/kg. Oleh karena itu, substitusi kalori batubara dengan RDF hanya dapat diperoleh dengan laju massa RDF yang lebih tinggi, atau dengan pencampuran antara RDF dengan biomassa atau limbah lainnya yang memiliki nilai kalori lebih tinggi seperti *sludge oil*.

RDF seringkali juga mengandung senyawa yang tidak diinginkan, seperti *phosphates*, *chlorine*, logam berat, dan komponen minor lain yang akan mempengaruhi proses klinkerisasi di kiln, sehingga dalam pemanfaatannya diperlukan modifikasi desain peralatan pendukung di kiln semen serta modifikasi kondisi operasi pabrik untuk menjamin kualitas produk klinker yang diproduksi.

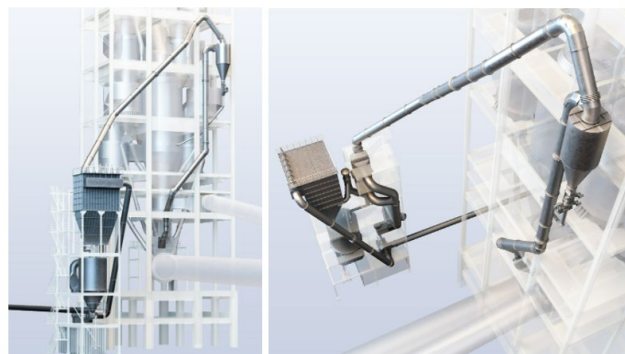
Pengendalian kualitas RDF merupakan hal yang sangat penting sebelum RDF dibakar di kiln semen. Pabrik semen menerapkan tahapan yang ketat untuk memastikan kualitas RDF saat diproduksi, saat penerimaan di pabrik semen, dan saat akan diumpungkan ke dalam sistem pembakaran.



Gambar 5.16 Contoh pengendalian kualitas RDF di SBI Pabrik Cilacap
Sumber: SBI, 2022

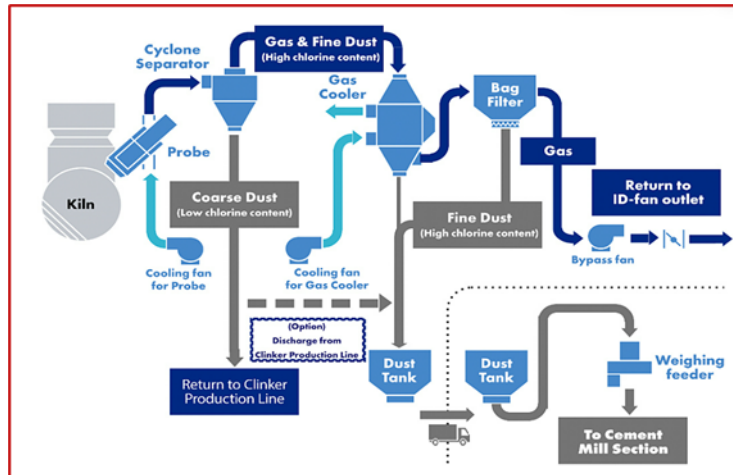
Sehubungan dengan target peningkatan pemanfaatan bahan bakar alternatif, termasuk RDF, maka volume komponen volatil, khususnya klorin, dalam lini produksi klinker berpotensi mengalami peningkatan. Industri semen di Indonesia mempelajari dari industri semen global beberapa metode untuk menghilangkan klorin secara efektif dari proses produksi klinker. Salah satu metode yang dipandang efektif adalah pemasangan *kiln bypass*. Metode ini diharapkan dapat meningkatkan fleksibilitas dalam penggunaan RDF yang mengandung klorin tinggi dan meringankan masalah siklus sulfur, namun instalasi *bypass* harus dipertimbangkan kasus per kasus.

Jika *bypass* hanya digunakan untuk menangani input klorin berlebihan yang disebabkan oleh RDF, pemanfaatan debu *output bypass* harus diperhitungkan. Solusi saat ini adalah dengan memanfaatkan debu ke dalam campuran semen, dengan tetap mempertimbangkan kualitas semen dan pemenuhan Standar Nasional Indonesia (SNI). Jika debu *bypass* tidak dapat dimanfaatkan, maka penggunaan *bypass* tidak dapat diterima karena menciptakan dampak negatif terhadap lingkungan. Jika tidak ada *bypass*, sistem kiln harus dirancang untuk mengekstrak filter debu selama operasi langsung dan mengirimkan ke proses penggilingan semen. Tindakan ini memungkinkan ekstraksi klorin dan menghilangkan akumulasi logam yang tinggi (misalnya *thallium* pada siklus debu luar).



Gambar 5.17 Contoh pemasangan sistem *bypass*
Sumber: World Bank, 2022

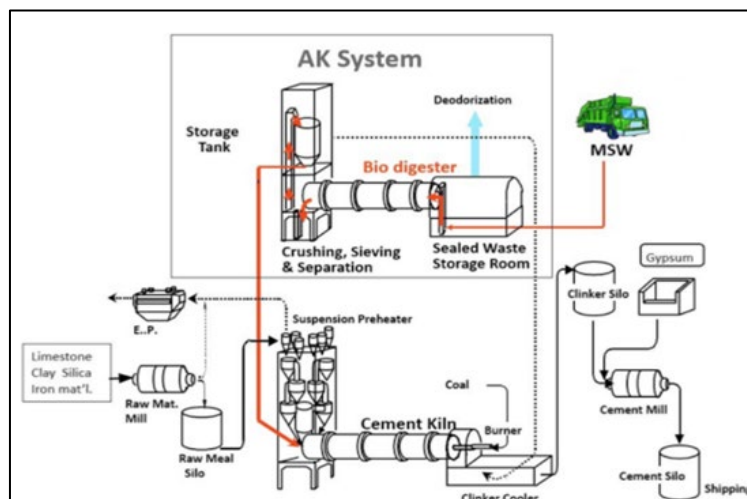
Pemasangan *bypass* dengan kapasitas 10% membutuhkan biaya tidak kurang dari 60 Milyar Rupiah (Indocement, 2022). Sementara itu, dalam kajian IFC disebutkan bahwa sistem *bypass* dengan kapasitas kecil (1 hingga 5 ton per jam) membutuhkan investasi sebesar €1 juta hingga €2 juta. Sedangkan, untuk kapasitas besar (lebih dari 5 ton per jam) membutuhkan investasi €5 hingga €15 juta.



Gambar 5.18 Ekstraksi debu dalam sistem *bypass*

Sumber: IFC, 2022

Teknologi lain yang dikenal dapat meningkatkan kapasitas pemanfaatan RDF di pabrik semen dikembangkan oleh Taiheiyo Cement. Taiheiyo telah mengubah salah satu kilnnya menjadi *bio-digester* untuk menyiapkan bahan bakar alternatif dari sampah yang dikenal sebagai proses Sistem AK, sebagai bagian dari kontrak dengan masyarakat Hidaka. Sistem ini mengolah sampah sebesar 15.000 ton per tahun, dengan keuntungan €3,3 juta untuk pabrik semen, termasuk €300 per ton yang dibayarkan oleh Pemerintah Kota kepada Taiheiyo.



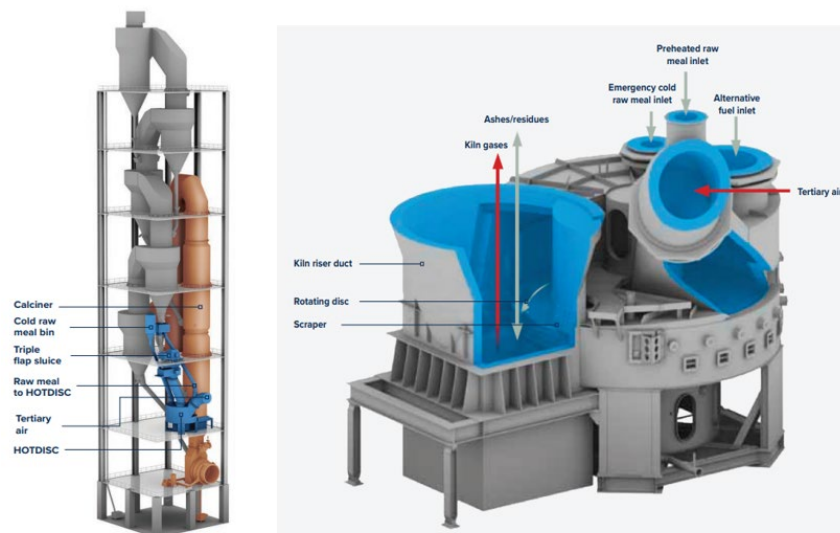
Gambar 5.19 Sistem AK Taiheiyo

Sumber: Taiheiyo, 2022

Teknologi lainnya yang sedang diujicoba oleh industri semen nasional adalah HOTDISC®. Dibuat dengan teknologi dari Denmark, peralatan ini dirancang untuk menghasilkan TSR dalam kisaran 50% sampai 80%. Proses pra-pembakaran memungkinkan lebih banyak fleksibilitas terhadap kualitas RDF sehubungan dengan homogenitas, nilai kalor bersih, kadar air, kandungan, dan ukuran RDF. Waktu retensi tambahan (hingga 10 detik) memungkinkan peningkatan pembakaran bahan bakar alternatif RDF.

Peralatan ini diintegrasikan ke dalam sistem pembakaran di bagian bawah kalsiner. Bahan bakar alternatif kasar termasuk RDF diumpankan ke piringan yang berputar perlahan. Udara panas tersier diarahkan untuk memberikan oksidasi atmosfer untuk bahan bakar alternatif dan bahan bakar alternatif perlahan bergerak pada putaran disc hingga terbakar habis.

Tergantung sifat dari bahan bakar alternatif (ukuran, kandungan panas, kelembaban, dan sebagainya), rotasi kecepatan alat dapat disesuaikan untuk mengoptimalkan tempat tinggal waktu dan laju pembakaran. Proses ini menghasilkan gas panas, sisa pembakaran (abu), dan *raw meal* terkalsinasi. Material halus dibawa dengan gas panas ke bagian bawah kalsiner sedangkan material yang lebih kasar memenuhi *scraper* dan diarahkan ke saluran *riser* kemudian masuk ke dalam kiln.



Gambar 5.20 Reaktor HOTDISC®

Sumber: FLSmidth, 2022



Gambar 5.21 Transportasi RDF ke sistem HOTDISC®
 Sumber: FLSmidth, 2022

Pabrik semen pemanfaat RDF sebanyak 100% tunduk pada peraturan Baku Mutu Emisi dari Peraturan Menteri LHK Nomor 19 tahun 2017 tentang Baku Mutu Emisi Bagi Usaha dan /atau Kegiatan Industri Semen.

No	Parameter	Satuan	Nilai Baku Mutu Emisi
1	Partikulat*	mg/Nm ³	60
2	Sulfur Dioksida (SO ₂)*	mg/Nm ³	650
3	Nitrogen Oksida (NO _x)*	mg/Nm ³	800
4	Hidrogen Fluorida (HF)*	mg/Nm ³	2
5	Hidrogen Klorida (HCl)*	mg/Nm ³	20
6	Karbon Monoksida (CO)*	mg/Nm ³	625
7	Cadmium (Cd)	mg/Nm ³	0,2
8	Merkuri (Hg)	mg/Nm ³	0,2
9	Lead (Pb)	mg/Nm ³	5
10	Arsenik (As)	mg/Nm ³	1
11	Nikel (Ni)	mg/Nm ³	0,5
12	PCDD/F (Dioxin dan Furan)**	ng TEQ/Nm ³	0,1

Catatan:

- Kadar maksimum baku mutu diatas dikoreksi terhadap 7% Oksigen (O₂) pada kondisi 25°C, 760 mmHg.
- Pengukuran emisi dilakukan pada kondisi kering.
- Pengukuran kadar Karbon Dioksida (CO₂) pada cerobong keluar.

(*) Pengukuran diwajibkan menggunakan CEMS
 (***) PCDD/F diukur setiap 4 (empat) tahun sekali setelah beroperasinya unit fasilitas *Refuse Derived Fuel*.

Gambar 5.22 Baku mutu emisi industri semen pemanfaat RDF

Apabila pabrik semen memanfaatkan RDF kurang dari 100%, maka Baku Mutu Emisi Udara yang menjadi rujukan sesuai dengan Baku Mutu Emisi yang ditetapkan dalam dokumen lingkungan masing-masing pabrik semen. Industri semen pemanfaat RDF harus memiliki kapasitas internal untuk mengukur dan memantau tingkat polutan konvensional seperti partikulat, CO, NO_x, dan SO₂ menggunakan alat penganalisis emisi yang andal dan dilakukan secara *continue*. Pemantauan emisi

Jateng

PT Solusi Bangun Indonesia, Cilacap		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Cilacap	3 Km
2	Kab Banyumas	44 Km
3	Kab Purbalingga	65 Km
4	Kab Brebes	118 Km

PT Sinar Tambang Arthalestari		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Cilacap	41 Km
2	Kab Banyumas	37 Km
3	Kab Purbalingga	39 Km
4	Kab Banjarnegara	72 Km
5	Kab Kebumen	85 Km
6	Kab Tegal	77 Km
7	Kab Brebes	83 Km

PT Semen Gresik Rembang		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Grobogan	84 Km
2	Kab Rembang	26 Km

Jatim

PT Semen Indonesia Tbk, Tuban		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Tuban	16 Km

PT Semen Grobogan		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Magelang	79 Km
2	Kab Boyolali	68 Km
3	Kab Sragen	81 Km
4	Kab Grobogan	43 Km
5	Kab Pati	76 Km
6	Kab Kudus	58 Km
7	Kab Jepara	69 Km
8	Kab Demak	32 Km
9	Kab Semarang	34 Km
10	Kab Temanggung	85 Km
11	Kab Kendal	65 Km
12	Kota Semarang	27 Km

Gambar 5.25 Jarak pabrik semen dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur

Kalsel

PT Conch Kalimantan Selatan		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Tabalong	28,6 Km
2	Kab Balangan	42 Km
3	Kab Barito Timur	69 Km

PT Indocement Tunggul Prakarsa Tbk, Tarjun		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Kotabaru	40 Km
2	Kab Tanah Bumbu	119 Km

Papua

PT Conch Manokwari		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Manokwari	23 Km

Sulsel

PT Semen Bosowa		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Maros	45 Km
2	Kab Gowa	64 Km
3	Kota Makassar	5 Km

PT Semen Tonasa		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Takalar	46 Km
2	Kab Pangkajene	48 Km
3	Kab Maros	52 Km
4	Kota Makassar	10 Km

PT Conch Barru Cement		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Marros	90 Km

Sulut

PT Conch Sulut		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Bolaang Mongondow	10 Km
2	Kab Bolaang Mongondow Timur	62 Km
3	Kab Kotamobagu	43 Km

Gambar 5.26 Jarak pabrik semen dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Kalimantan Selatan, Sulawesi Selatan, Sulawesi Utara, dan Papua

5.2.2 Industri Pupuk

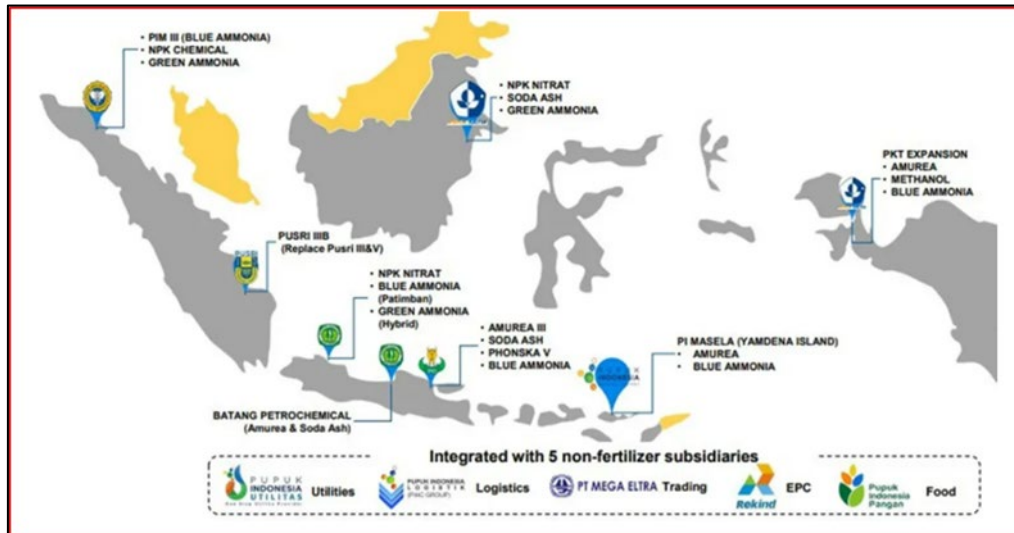
Karena keterbatasan data primer dalam kajian ini, proyeksi konsumsi energi industri pupuk difokuskan pada industri besar yang menguasai lebih dari 80 % pasar produk pupuk di Indonesia. Pengguna energi terbesar (lebih dari 80%) didominasi untuk produksi amonia dan urea, sehingga proyeksi konsumsi energi dihitung hanya untuk produksi amonia dan urea di 5 pabrik besar di bawah Grup Pupuk Indonesia.

5.2.2.1 Kebutuhan Energi di Industri Pupuk

Terdapat lima produsen pupuk yang berada di bawah naungan PT Pupuk Indonesia (Persero), yakni PT Pupuk Kujang, PT Pupuk Kalimantan Timur, PT Petrokimia Gresik, PT Pupuk Iskandar Muda, dan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang. Tiga diantaranya menggunakan batubara sebagai salah satu bahan bakar produksi. Ketiganya yakni Pupuk Sriwidjaja, Pupuk Iskandar Muda, dan Pupuk Kaltim. Target kapasitas

produksi pupuk nasional pada tahun 2021 sebesar 12 juta ton, untuk memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri sekitar 9 juta ton.

Kebutuhan bahan bakar gas pada tahun 2022 sekitar 294.836.925 GJ per tahun dan batubara sebesar 123.274.134 GJ per tahun. Kebutuhan energi listrik yang dibeli dari PLN sekitar 752.100 MWh.



Gambar 5.27 Sebaran industri pupuk di Indonesia

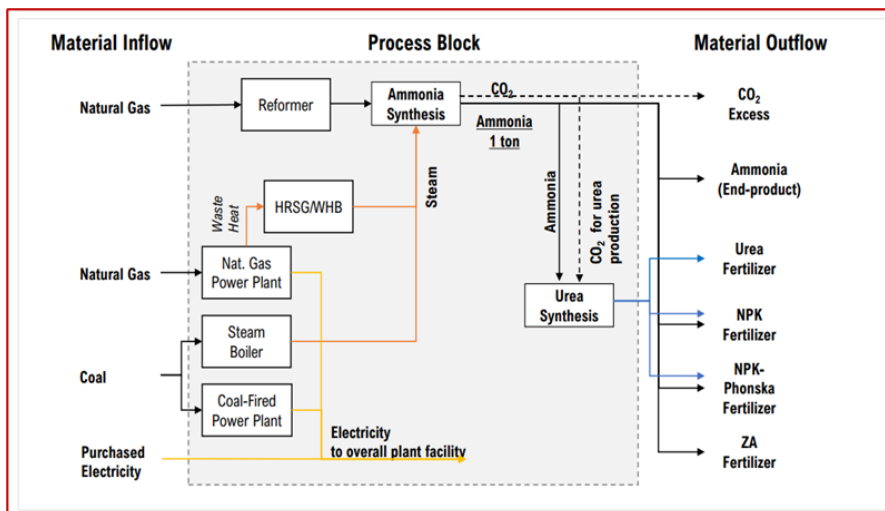
Pada industri pupuk yang menggunakan batubara, penggunaan gas bumi sebagai pembangkit *steam* dan listrik mencapai 61 persen, sisanya sebesar 39 persen dipenuhi dari batu bara. Pada tahun 2021, kebutuhan batu bara untuk industri pupuk sebanyak 1,46 juta ton.

Tabel 5.6 Kebutuhan energi di Grup Pupuk Indonesia

Company	Fuel type for process	Purchased electricity (PLN/Third Party)	On-Site Power Plant	
			Coal-fired PP	Gas-fired PP
PT Pupuk Kaltim	Natural gas, coal	Yes (in partial)	16 MW; 11.2 MW	36 MW; 32 MW; 21.6 MW
PT Pupuk Iskandar Muda	Natural gas	Yes (in partial)	-	15-MW
PT Pupuk Sriwidjaya Palembang	Natural gas	Yes (in partial)	-	3 x 18 MW; 1 x 20 MW
PT Pupuk Kujang	Natural gas	Yes (in partial)	-	15 MW; 11 MW
PT Petrokimia Gresik	Natural gas, coal	Yes (in partial)	50 MW 32 MW	33 MW

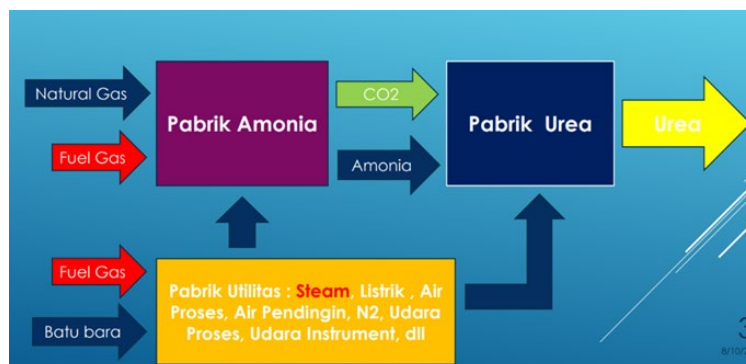
Penggunaan energi dominan berupa bahan bakar *steam boiler* (sekitar 97% dari total energi *non-feedstock*), dan sisanya berupa energi listrik. Gas alam digunakan sebagai bahan bakar untuk memasok *steam (boiler)* dan bahan bakar pembangkit listrik. Batubara digunakan sebagai bahan bakar untuk memasok energi pada pembangkit listrik dan/atau *steam (coal boiler)* untuk *Steam Methane Reforming (SMR)*. Seluruh *plant* produksi menggunakan listrik, beberapa *plant* secara parsial menggunakan listrik dari PLN dan sebagian lainnya memiliki pembangkit listrik sendiri. Pembangkit listrik sendiri tersebut menggunakan bahan bakar gas alam dan batubara.

Diagram proses produksi industri pupuk digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5.28 Diagram proses industri pupuk
Sumber: CBS, 2023

Tiga jenis bahan bakar yang digunakan oleh industri pupuk yaitu: (1) *Natural Gas* sebagai bahan baku/proses untuk pabrik amonia dan urea; (2) *Fuel Gas* sebagai pemanas/energi; dan (3) Batubara untuk bahan bakar *boiler* batubara



Gambar 5.29 Bahan bakar di industri pupuk
Sumber: Pupuk Indonesia, 2022



Gambar 5.30 Ilustrasi industri pupuk
Sumber: Pupuk Indonesia, 2022

5.2.2.2 Potensi Pemanfaatan RDF di Industri Pupuk

Pada tahun 2022, kebutuhan batubara di Grup Pupuk Indonesia meliputi: PT Pupuk Kaltim 685.976 ton, PT Petrokimia Gresik 240.000 ton dan PT Pupuk Sriwidjaja 650.430 ton. Substitusi 5% dari total kebutuhan batubara 3 pabrik di atas menghasilkan 78.820 ton RDF/tahun. Kebutuhan batubara tahun 2023 diperkirakan 1,98 juta ton yang akan dipasok untuk PT Pupuk Kaltim 800 ribu ton, PT Petrokimia Gresik 475.200 ton dan PT Pupuk Sriwijaya 705 ribu ton.

PT Pupuk Indonesia saat ini juga telah mengembangkan alternatif substitusi bahan bakar fosil melalui penggunaan biomassa dalam program dekarbonisasi.

5.2.2.3 Tantangan Pemanfaatan RDF di Industri Pupuk

No	Parameter	Performance
1	Nilai kalor RDF	Sifat ukuran, kepadatan, nilai kalori bervariasi antar sumber sampah dan musim. Tidak dapat menjamin bahwa RDF akan memiliki nilai kalori yang sama. Laju pelepasan panas RDF kurang konsisten dibandingkan dengan batubara dan oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang perilaku pembakaran RDF bersama (<i>co-firing</i>) dengan batubara di <i>boiler</i> .
2	Ukuran	RDF dalam bentuk <i>fluff</i> tidak dapat dicampur langsung dengan batubara halus, karena sistem penggilingan batubara tidak dirancang untuk menggiling RDF. Diperlukan sistem penggilingan terpisah, pengangkutan, dan modifikasi dalam sistem pembakaran.
3	Kualitas <i>output</i>	(i) Kehadiran silika dengan alkali menyebabkan aglomerasi dan pengotoran pada permukaan <i>boiler</i> . (ii) Silika dalam abu terbang menyebabkan erosi pada permukaan <i>boiler</i> . (iii) Senyawa klorida menyebabkan korosi pada permukaan <i>boiler</i> . (iv) Hasil pembakaran RDF mengandung SO ₂ /SO ₃ yang menyebabkan perubahan titik embun asam memicu korosi. Kehadiran materi non-logam korosif tersebut dalam RDF yang berlangsung dalam jangka waktu tertentu mengurangi produktivitas <i>boiler</i> dan turbin.
4	Pembentukan <i>slag</i>	Suhu pembakaran di atas suhu leleh abu menyebabkan abu leleh membentuk deposit klinker pada kisi <i>grate</i> yang dalam jangka waktu tertentu mengurangi produktivitas <i>boiler</i> dan meningkatkan biaya pemeliharaan
5	Metalurgi <i>boiler</i>	Metalurgi <i>boiler</i> berbahan bakar <i>Pulverized Coal</i> (PC) tidak sesuai untuk bahan yang sangat korosif. RDF yang dibakar akan memicu atmosfer proses yang kaya dengan <i>chlor</i> dan unsur alkali. Hal ini dapat memicu kegagalan kinerja <i>boiler</i> akibat kebocoran tabung dan kegagalan proses akibat korosi pada tabung <i>boiler</i> .

Substitusi batubara menjadi RDF di industri pupuk membutuhkan beberapa tahapan, meliputi:

- (1) Kajian teknis: kesesuaian spesifikasi RDF dengan sistem pembakaran eksisting, antara lain nilai kalori, kadar air, abu, *chlor*, sulfur, *impurities*, aspek *safety*, dan analisis risiko;

- (2) Kajian kelayakan ekonomi: Implementasi substitusi batubara menjadi RDF membutuhkan biaya transportasi RDF ke lokasi pabrik, biaya investasi gudang untuk penyimpanan RDF, investasi *hoper* dan *conveyor* untuk alat pengumpan ke ruang bakar (*burner*);
- (3) Analisis aspek keselamatan dan lingkungan terhadap perubahan bahan bakar dari batubara ke RDF.

5.2.2.4 Sebaran Lokasi Industri Pupuk

Berikut lokasi pabrik pupuk yang diperkirakan berdasarkan jarak dengan kota/kabupaten terdekat dengan pabrik tersebut:

PT Pupuk Iskandar Muda		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Aceh Tengah	101 Km
2	Kab Aceh Utara	45 Km
3	Kab Bener Meriah	85 Km
4	Kab Bireuen	41 Km

PT Pupuk Kaltim		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kota Balikpapan	111 Km

PT Petrokimia Gresik		
No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Sidoarjo	44 Km
2	Kab Mojokerto	64 Km
3	Kab Jombang	83 Km
4	Kab Lamongan	29 Km
5	Kab Gresik	1 Km
6	Kab Bangkalan	53 Km
6	Kota Surabaya	20 Km

Gambar 5.31 Jarak pabrik pupuk dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Daerah Istimewa Aceh, Kalimantan Timur, dan Jawa Timur

5.2.3 Industri Pulp dan Kertas

5.2.3.1 Kebutuhan Energi di Industri Pulp dan Kertas

Industri Pulp dan Kertas (IPK) merupakan salah industri yang memiliki intensitas energi yang tinggi. Karakteristik teknologi pada industri pulp dan kertas bergantung dari jenis bahan baku, proses pembuatan pulp, dan jenis produk akhir yang dihasilkan. Setiap proses pada pembuatan pulp dan kertas memerlukan energi input dari bahan bakar batubara, gas, minyak bumi, *black liquor*, dan biomassa. Energi input tersebut digunakan untuk membangkitkan *steam* atau listrik yang sebagian besar digunakan di proses pembuatan pulp dan kertas. Berikut kapasitas terpasang industri pulp dan kertas sebagaimana dilaporkan oleh Asosiasi Pulp dan Kertas (APKI).

Tabel 5.7 Kapasitas terpasang IPK

Jenis Industri	Kapasitas Terpasang (juta ton)	Kapasitas Produksi (juta ton)
Industri Pulp	11,45	9,8
Industri Kertas	20,65	13,04

Sumber: APKI, 2023

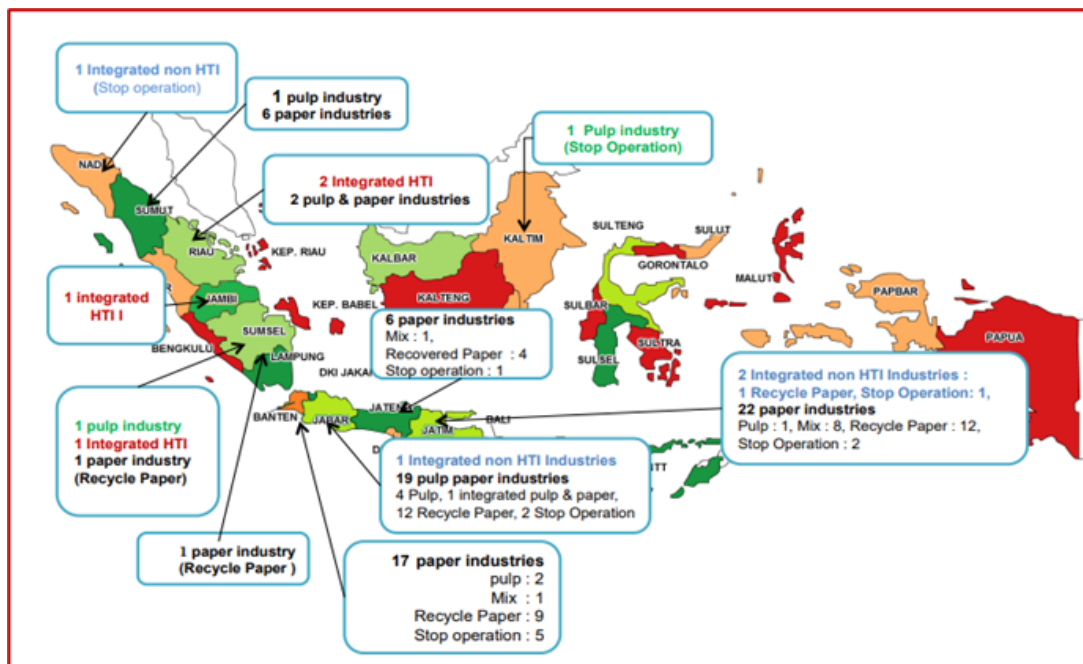
Di Indonesia terdapat 111 IPK yang tersebar terutama di Sumatera dan Jawa namun 29 di antaranya tidak beroperasi. Perusahaan-perusahaan IPK ini diklasifikasikan ke dalam industri pulp, pulp dan kertas terintegrasi, Hutan Tanaman Industri (HTI) pulp dan kertas terintegrasi, dan industri kertas. Perusahaan-perusahaan ini memproduksi bubur kertas dan berbagai jenis kertas. Jumlah industri yang beroperasi dan tidak beroperasi ditunjukkan pada tabel berikut ini:

Tabel 5.8 Jumlah IPK yang beroperasi dan tidak beroperasi

Jenis Industri	Jumlah
Industri Pulp	4
Industri Pulp Terintegrasi	6
Tidak Beroperasi	29
Industri Kertas	72
	111

Sumber: APKI Database, 2023

Data sebaran IPK yang tersedia saat ini bersumber dari data Kementerian Perindustrian tahun 2018 yang menunjukkan sebagian besar IPK berlokasi di Pulau Sumatera dan Pulau Jawa.

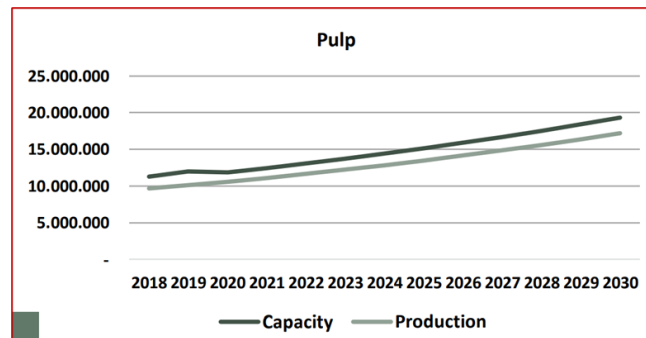


Gambar 5.32 Sebaran industri pulp dan kertas di Indonesia

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2018

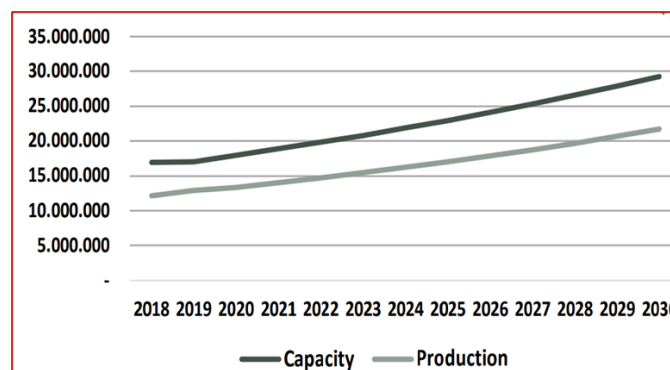
Pada tahun 2022, dilaporkan oleh APKI bahwa kapasitas terpasang di industri pulp dan kertas mencapai 12.647.327 ton, sedangkan kapasitas produksi kertas sebesar 9.232.548 ton. APKI juga

menyampaikan proyeksi kapasitas produksi pulp di tahun 2030 sebesar 19,2 juta ton dan produksi kertas sebesar 29,2 juta ton dengan asumsi pertumbuhan ekonomi sebesar 5%.



Gambar 5.33 Proyeksi produksi pulp di Indonesia

Sumber: APKI, 2023

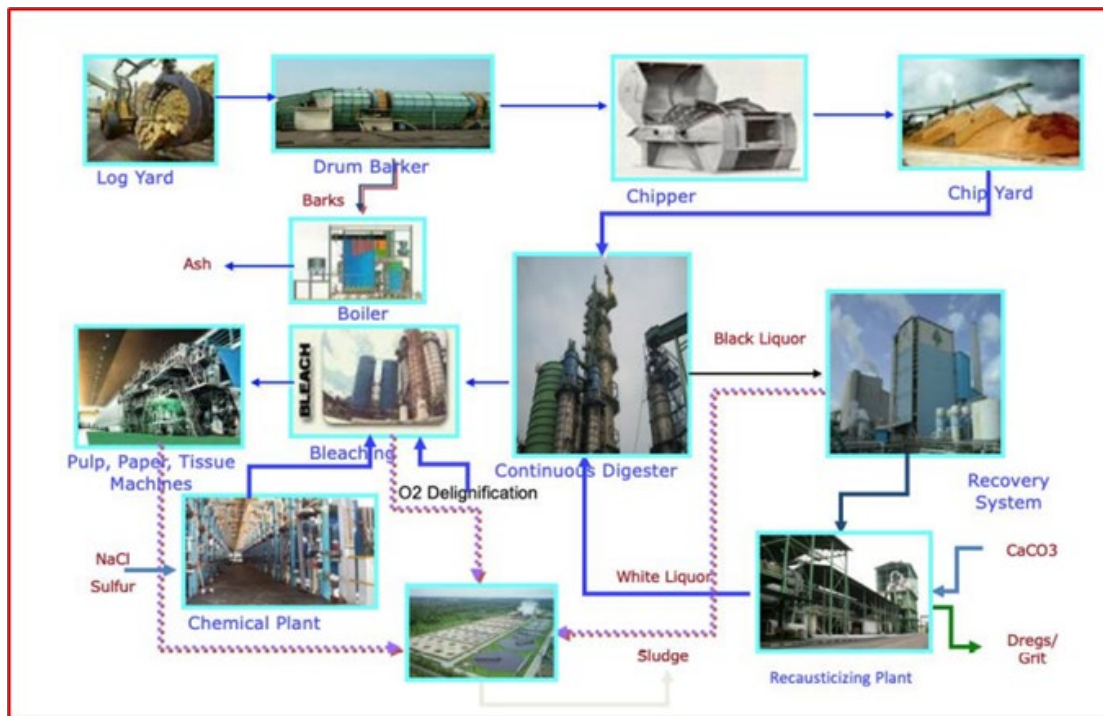


Gambar 5.34 Proyeksi produksi kertas di Indonesia

Sumber: APKI, 2023

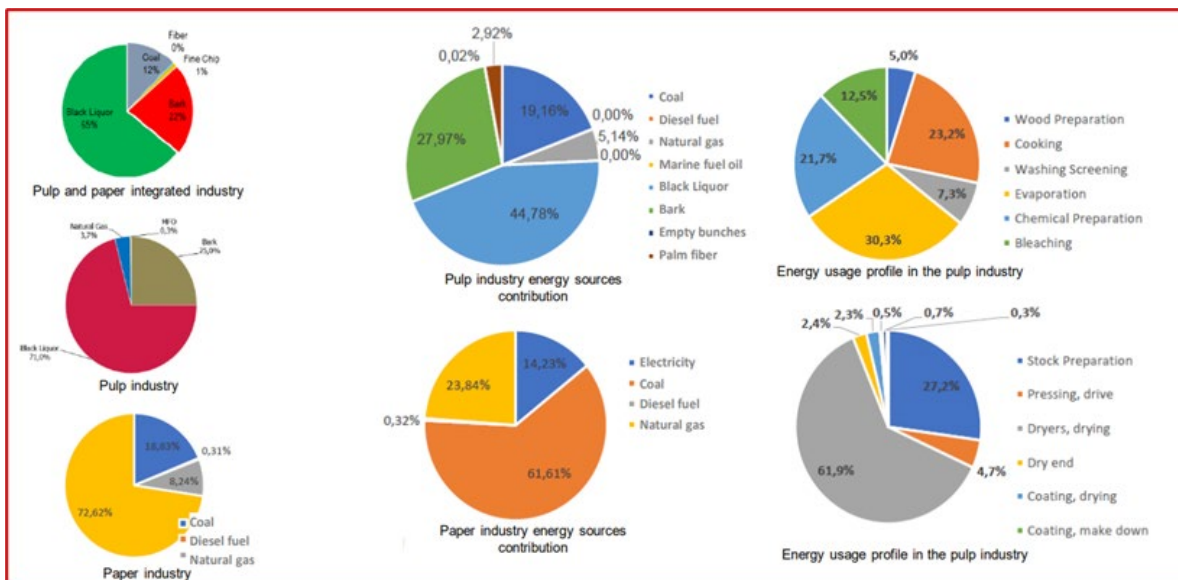
Beberapa pabrik pulp dan kertas terintegrasi memiliki konfigurasi peralatan secara lengkap, sementara beberapa pabrik kertas atau tisu hanya memiliki peralatan produksi *paper/tissue*. Sedangkan pulp sebagai bahan baku proses didatangkan dari luar pabrik. Adapun pabrik pulp hanya memiliki mesin untuk memproduksi pulp saja.

Proses produksi pulp dan kertas terdiri dari (1) Pembuatan pulp (*pulping*), dimana serpih kayu dipisahkan menjadi serat individu untuk menghilangkan lignin, (2) *Bleaching*, yang merupakan proses meningkatkan tingkat kecerahan kertas untuk keperluan menulis, *printing*, atau kertas dekoratif. Proses ini memisahkan lignin yang melekat pada serat kayu, (3) Pengeringan Pulp (*pulp Drying*), dan (4) Proses pembuatan kertas (*papermaking*). Proses pembuatan kertas (*papermaking*) digambarkan sebagai berikut:



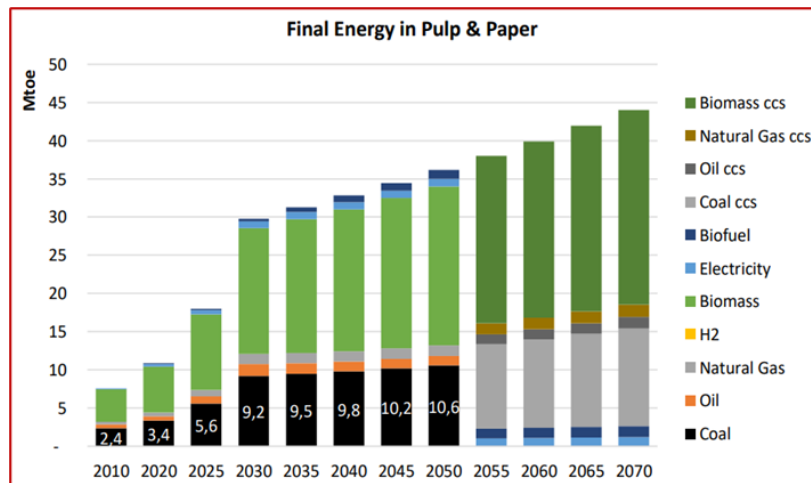
Gambar 5.35 Proses industri pulp dan kertas
 Sumber: Kementerian Perindustrian, 2020

Menurut data Kementerian Perindustrian tahun 2020, jumlah energi termal yang dibutuhkan industri pulp dan kertas terintegrasi (IPK), mengacu kepada kapasitas terpasang, adalah sekitar 465.080.000 GJ per tahun. Energi termal yang berasal dari bahan bakar fosil sekitar 172.079.600 GJ (37%). Energi fosil tersebut didominasi oleh batubara sebesar 76,5% atau sekitar 6.577.804 ton per tahun dengan batubara kategori *low rank* dan gas alam sekitar 20% atau sebesar 32.619.994 MMBtu.



Gambar 5.36 Proporsi energi di Industri Pulp dan Kertas
 Sumber: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian, 2021

Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian juga melaporkan kebutuhan energi final di industri pulp dan kertas serta memberikan proyeksi kebutuhan energi industri ini tahun 2070.

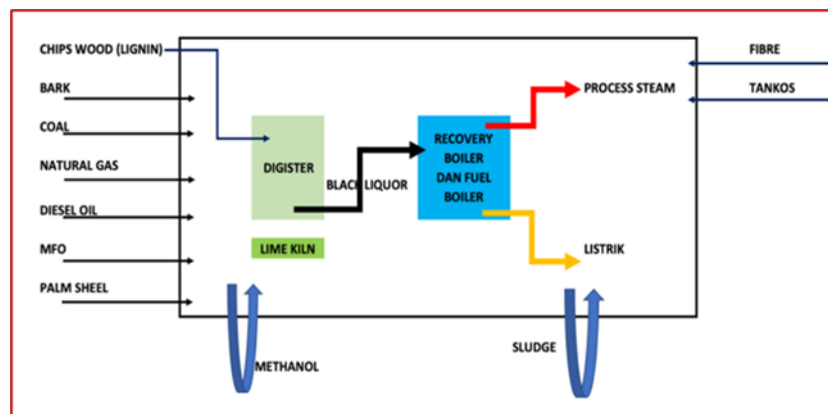


Gambar 5.37 Kebutuhan energi final di industri pulp dan kertas

Sumber: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian, 2021

Proses pengeringan pulp termasuk salah satu proses dengan konsumsi energi termal yang cukup besar. Dengan adanya proses *pulp drying* pada *non-integrated pulp mill*, maka konsumsi atau intensitas energi untuk menghasilkan pulp akan lebih besar dari *integrated pulp and paper mills* yang tidak perlu melewati proses pengeringan pulp.

Distribusi penggunaan energi pada pabrik IPK digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5.38 Distribusi penggunaan energi di pabrik pulp dan kertas

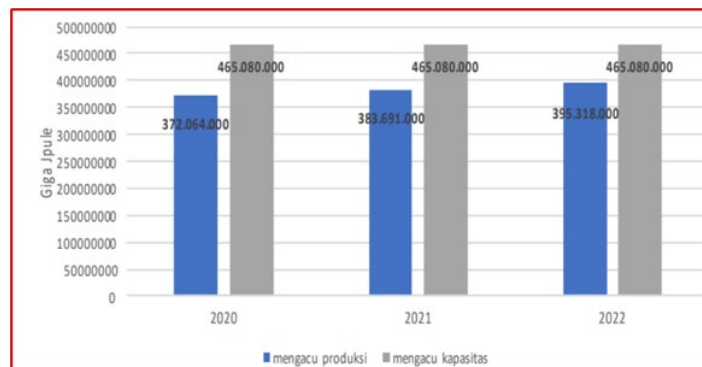
Dengan asumsi tingkat produksi pada tahun 2020 sekitar 80 persen dari kapasitas terpasang, dan meningkat 2,5 persen per tahun pada industri pulp dan kertas terintegrasi sekitar 465.080.000 GJ per tahun dengan komposisi 63% energi bahan bakar non-fosil (biomassa). Konsumsi bahan bakar fosil didominasi oleh batubara, yaitu sekitar 76,5% dari konsumsi energi bahan bakar fosil. Rata-rata jenis batubara yang digunakan adalah batubara *low rank* yang memiliki nilai kalori sekitar 4.780 kcal/kg (APKI, 2023).

Dari total kebutuhan energi termal, sebesar 63% bersumber dari biomassa, dan sekitar 82,5% energi biomassa berasal dari *black liquor* yang merupakan *waste recovery* dari proses “memasak” kayu dengan *digester*. Dengan demikian maka kebutuhan biomassa dari luar proses sekitar 17,5 % yang terutama bersumber dari *bark* (kulit kayu), tandan kosong, cangkang sawit, fiber sawit, dan sebagainya.

Tabel 5.9 Kebutuhan energi Industri IPK 2020 - 2022

Energy	Units	Consumption based on capacity per year	Energy consumption based on production		
			2020	2021	2022
Fossil thermal energy	Giga Joule	172.079.600	137.663.680	141.965.670	146.267.660
Coal	Ton	6.577.804	5.262.243	5.426.688	5.591.133
Natural gas	MMBTU	32.619.994	26.095.995	26.911.495	27.726.995
Biomass	GJ	293.000.400	234.400.320	241.725.330	249.050.340
Biomass imported	GJ	51.275.070	41.020.056	42.301.933	43.583.810

Sumber: APKI, 2023



Gambar 5.39 Kebutuhan energi termal IPK

Sumber: APKI, 2023

5.2.3.2 Potensi Pemanfaatan RDF di Industri Pulp dan Kertas

Berdasarkan proyeksi konsumsi energi oleh Pusat Data dan Informasi (Pusdatin) Kementerian Perindustrian pada tahun 2022, konsumsi batubara pada IPK sebesar 5.591.133 ton untuk kebutuhan termal poses produksi saja, adapun total kebutuhan batubara sebesar 9.548.364 ton/tahun.

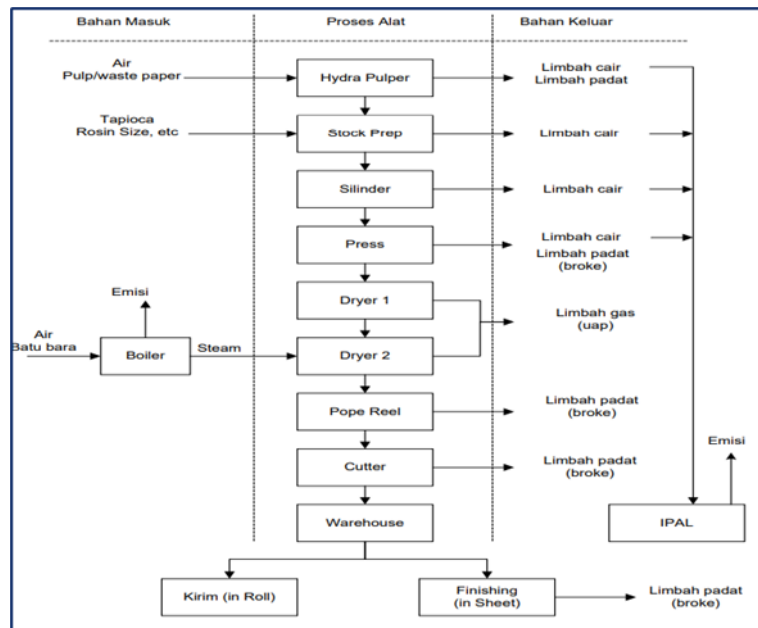
Diasumsikan laju substitusi panas sebesar 1% dari kebutuhan energi termal dari bahan bakar fosil atau sebesar 1.720.796 GJ disuplai oleh RDF, dan asumsi nilai kalor RDF sebesar 12,55 GJ/ton maka potensi kebutuhan RDF untuk IPK diperkirakan sebesar 137.155 ton per tahun.

Adapun jika diasumsikan 5% panas yang diperlukan dari biomassa eksternal digantikan oleh RDF atau sebesar 2.563.754 GJ, maka potensi kebutuhan RDF untuk industri ini untuk menggantikan biomassa eksternal diperkirakan sebesar 204.251 ton per tahun.

Proses pembuatan kertas (*papermaking*) terdiri dari proses persiapan (*preparation*), pembentukan (*forming*), penekanan (*pressing*) dan pengeringan (*drying*). Proses yang paling banyak menggunakan energi adalah tahapan persiapan dan pengeringan (*drying*). Selama proses persiapan, pulp dibuat menjadi lebih fleksibel melalui proses *beating*, *mechanical pounding* dan *squeezing*.

Penambahan pigmen, warna dan material *filler* dilakukan pada tahap ini. *Forming* dilakukan dengan menyebarkan pulp pada *screen*. Air dipisahkan melalui tahapan proses kontinyu yaitu melalui proses

penekanan (*pressing*) dan pengeringan. Keseluruhan tahapan pembuatan kertas diberikan di bawah ini:

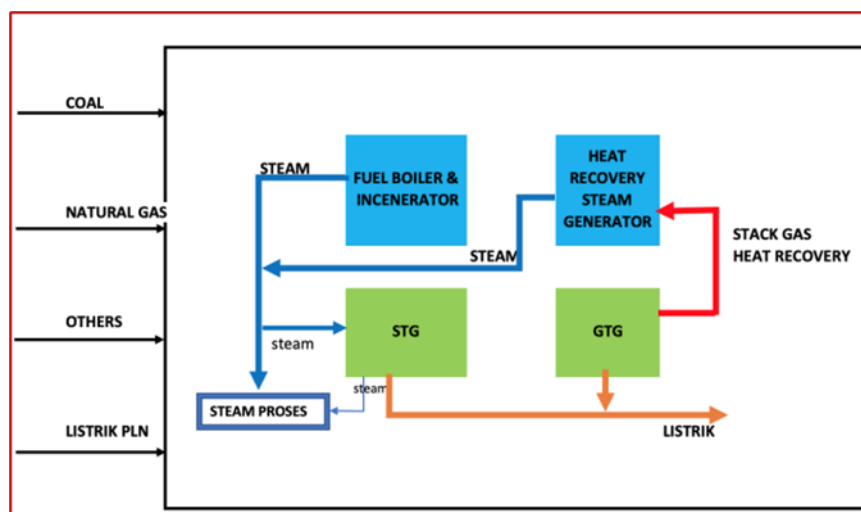


Gambar 5.40 Proses pembuatan kertas

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2017

Di industri kertas, peralatan pengguna energi terbesar adalah *paper machine*. Mesin ini mengonsumsi energi dalam bentuk listrik dan *steam*. Listrik yang dikonsumsi di industri ini dipasok oleh PLN maupun dibangkitkan sendiri. Pabrik mendapatkan pasokan energi dari luar dalam bentuk energi listrik PLN, serta bahan bakar seperti batubara, gas alam dan plastik. Plastik diperoleh antara lain dari bahan ikutan pada kertas bekas impor yang menjadi bahan baku untuk produksi kertas. Adapun batubara digunakan sebagai bahan bakar *boiler*.

Salah satu contoh pola penggunaan energi di suatu pabrik kertas ditunjukkan pada gambar berikut ini:



Gambar 5.41 Distribusi energi di pabrik kertas

Di pabrik kertas, *boiler* menghasilkan *steam* sebagai penggerak *steam* turbin generator untuk menghasilkan listrik. Sebagian *steam* dialirkan untuk keperluan proses, antara lain untuk kebutuhan *paper machine*. Sedangkan gas alam digunakan sebagai bahan bakar *gas turbine generator*.

Proporsi konsumsi energi termal di industri kertas mencapai lebih dari 90 % dari kebutuhan energi total. Kementerian Perindustrian memperkirakan kebutuhan energi termal industri ini pada tahun 2022 sekitar 121.027.170 GJ (acuan kapasitas terpasang) dan sekitar 102.873.093 GJ (acuan kapasitas produksi). Sekitar 65 % bahan bakar atau energi termal berasal dari batubara dan 14 % dalam bentuk gas alam. Jika mengacu pada batubara yang digunakan saat ini (batubara peringkat rendah dengan nilai kalori 4.780 kkal/kg), maka kebutuhan batubara berdasarkan kapasitas adalah 3.930.849 ton/tahun.

Tabel 5.10 Kebutuhan energi Industri IPK 2020 – 2022

Energy	Units	Consumption based on capacity per year	Energy consumption based on production		
			2020	2021	2022
Fossil thermal energy	Giga Joule	121.027.170	96.821.736	99.847.415	102.873.095
Coal	Ton	3.930.849	3.144.679	3.242.950	3.341.221
Natural gas	MMBTU	16.059.625	12.847.700	13.249.191	13.650.681
Electricity	GJ	1.879.583.362	1.503.666.690	1.550.656.274	1.597.645.858

Sumber: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian, 2021

Diasumsikan laju substitusi panas sebesar 1% dari kebutuhan energi termal atau sebesar 1.210.272 dipenuhi oleh RDF, dan asumsi nilai kalor RDF sebesar 12,55 GJ/ton maka potensi kebutuhan RDF untuk industri kertas diperkirakan sebesar 96.436 ton per tahun.

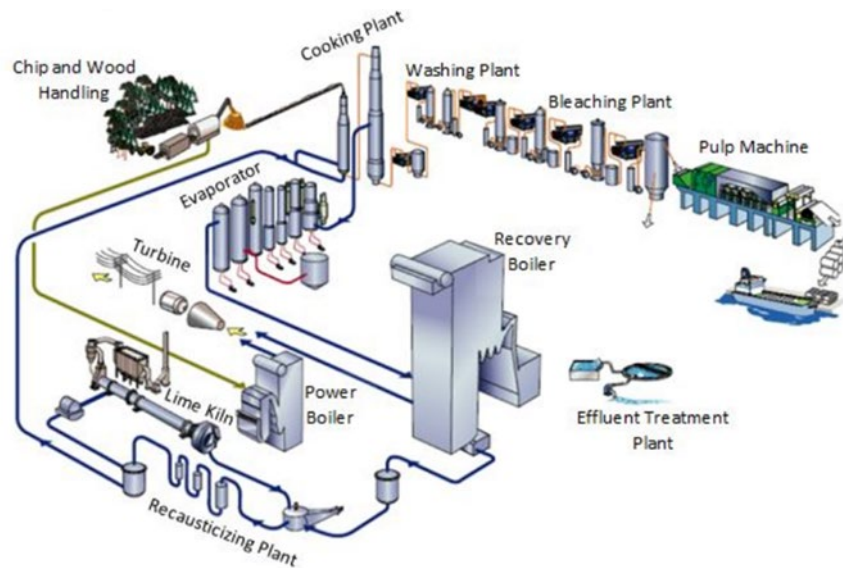
Namun demikian, diperlukan kajian lebih lanjut mengenai kebutuhan modifikasi peralatan, penyesuaian proses, serta kualitas RDF untuk industri pulp dan kertas secara spesifik, untuk melihat berbagai dampak pemanfaatan RDF dengan lebih detail.

Salah satu pabrik IPK terbesar di Indonesia adalah APRIL, berlokasi di Pangkalan Kerinci, menghasilkan pulp sebanyak 2,8 juta ton kering pulp (*adt/air-dried ton*) dan 1,15 juta ton kertas pada tahun 2020.

Sekitar 80,7% dari kebutuhan energi pabrik pulp dan kertas perusahaan ini berasal dari sumber energi terbarukan. Sisanya, yaitu sebesar 19,3%, dipasok terutama dari gas alam dan batu bara. Konsumsi energi pada industri ini dapat dilihat pada pengoperasian salah satu ketel uap pemulihan (*recovery boiler*) terbesar di dunia yang menangkap energi dari lindi hitam (*black liquor*), yang berasal dari proses pembuatan pulp, dan mengubahnya menjadi energi yang setara dengan 390 MW per tahun. Energi dari ketel uap ini dan tiga ketel uap pemulihan lainnya digunakan untuk menghasilkan uap untuk pembangkit listrik dan dalam proses pengeringan untuk produksi.

Konsumsi bahan bakar tak terbarukan di APRIL sebesar 17.090.000 GJ. Dengan substitusi panas 1% RDF sebesar 170.900 GJ, yang apabila dipasok oleh RDF dengan nilai kalor sebesar 12,55 GJ/ton, maka potensi kebutuhan RDF untuk APRIL diperkirakan sebesar 13.618 ton per tahun. Jika diasumsikan pabrik beroperasi 300 ton/tahun maka kebutuhan RDF diperkirakan sekitar 45 ton per hari.

Dengan substitusi panas 5% RDF sebesar 845.500 GJ, yang apabila dipasok oleh RDF dengan nilai kalor 00 sebesar 12,55 GJ/ton, maka potensi kebutuhan RDF untuk APRIL diperkirakan sebesar 68.088 ton per tahun, atau jika diasumsikan pabrik beroperasi 300 ton/tahun maka kebutuhan RDF sekitar 227 ton per hari.



Gambar 5.42 Proses produksi pulp di APRIL

5.2.3.3 Tantangan Pemanfaatan RDF di Industri Pulp dan Kertas

Berdasarkan evaluasi teknologi, terdapat sejumlah kendala dalam penggunaan RDF dalam *boiler* di industri IPK. Bahan bakar berbasis limbah seperti RDF harus memiliki jenis yang serupa dengan sumber bahan bakar desain *boiler* yang saat ini digunakan. Ada masalah seputar nilai kalor, kadar air, dan keberadaan kontaminan RDF. Tantangan lain untuk penggunaan RDF dalam industri pulp dan kertas adalah fakta bahwa hampir 70% kebutuhan energi panas pabrik IPK dihasilkan sendiri melalui bahan bakar biomassa yaitu *black liquor*.

Pabrik pulp dan kertas sebagian besar menggunakan bahan bakar homogen yang bersih seperti kulit kayu, serbuk gergaji, dan residu kayu lainnya, sehingga *boiler* industri ini tidak didesain untuk menangani plastik atau senyawa organik terklorinasi. Karena IPK menggunakan bahan bakar yang bersih, industri ini tidak memiliki sistem untuk mengendalikan gas asam atau beracun, yang dihasilkan dari pembakaran plastik.

Sebagaimana telah disampaikan dalam bab sebelumnya, saat ini PT Tjiwi Kimia dalam proses konstruksi *boiler* berbahan bakar RDF bersumber dari impuritis kertas daur ulang proses dan Sebagian lagi berpotensi didapatkan dari sampah domestik di sekitar pabrik.

Meskipun saat ini IPK cenderung belum siap menggunakan RDF, namun dapat diidentifikasi beberapa keuntungan bagi IPK untuk mempertimbangkan RDF sebagai bahan bakar alternatif, seperti harga RDF lebih murah dibandingkan harga batubara yang akan memberikan keuntungan finansial. Namun, penerapan RDF di IPK memerlukan investasi awal untuk menyiapkan fasilitas penyimpanan dan pengumpulan RDF, serta sistem kontrol emisi *boiler*.

Jika pabrik pulp dan kertas mempertimbangkan untuk menggunakan RDF dalam campuran energinya, sistem pengendalian polusi udara akan memerlukan peningkatan kinerja untuk menangani emisi dari RDF.

Pabrik pulp dan kertas dapat mempertimbangkan instalasi unit gasifikasi untuk mengubah RDF menjadi gas sintetik untuk produksi listrik. Gasifikasi adalah teknologi agnostik bahan baku yang dapat membakar bahan organik dan anorganik seperti RDF untuk menghasilkan *Syngas*. Namun kemungkinan ini perlu dijajaki lebih lanjut melalui uji coba.

5.2.3.4 Sebaran Lokasi Industri Pulp dan Kertas

Berikut lokasi pabrik pulp dan kertas yang diperkirakan berdasarkan jarak dengan kota/kabupaten terdekat dengan pabrik tersebut:

Sumatera Utara			Sumatera Selatan		
PT Toba Pulp Lestari			PT Tanjung Enim Lestari Pulp & Paper (TELPP)		
No	Kabupaten / Kota	Jarak	No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Humbang Hasundutan	75 Km	1	Kab Ogan Komering Ulu	26 Km
2	Kab Karo	90 Km	2	Kab Ogan Komering Ilir	118 Km
3	Kab Asahan	66 Km	3	Kab Ogan Ilir	85 Km
4	Kab Toba	26 Km	4	Kab Prabumulih	35 Km
5	Kota Tanjung Balai	121 Km	5	Kab Muara Enim	57 Km
Riau			PT Oki Pulp & Paper Mills (Group APP)		
PT RAPP			No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Pelelawan	92 Km	1	Kota Palembang	6 Km
2	Kota Pekanbaru	67 Km	2	Kab Ogan Komering Ilir	60 Km
3	Kab Siak	101 Km	3	Kota Prabumulih	94 Km
PT IKPP			4	Kab Ogan Ilir	67 Km
No	Kabupaten / Kota	Jarak	Jambi		
1	Kab Siak	47 Km	PT Lontar Papyrus Pulp & Paper Industry		
2	Kota Pekanbaru	42 Km	No	Kabupaten / Kota	Jarak
3	Kab Pelelawan	77 Km	1	Kab Batanghari	85 Km
			2	Kab Muaro Jambi	40 Km
			3	Kota Jambi	6 Km

Gambar 5.43 Jarak pabrik pulp dan kertas dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Sumatera Utara, Sumatera Selatan, Riau, dan Jambi

Banten			Jawa Barat			Jawa Timur		
PT IKPP Serang			PT Pindo Deli Pulp and Paper			PT Tjivi Kimia Tbk.		
No	Kabupaten / Kota	Jarak	No	Kabupaten / Kota	Jarak	No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Lebak	73 Km	1	Kab Bekasi	29 Km	1	Kota Surabaya	49 Km
2	Kab Pandeglang	49 Km	2	Kota Bekasi	46 Km	2	Kab Jombang	73 Km
3	Kab Serang	38 Km	3	Kota Depok	88 Km	3	Kab Sidoarjo	31 Km
4	Kab Tangerang	32 Km	4	Kota Bogor	96 Km	4	Kota Malang	117 Km
5	Kota Cilegon	34 Km	5	Kab Boqor	100 Km	5	Kab Malang	120 Km
6	Kota Serang	22 Km				6	Kab Mojokerto	17 Km
7	Kota Tangerang	51 Km				7	Kab Blitar	110 Km
8	Kota Tangsel	67 Km				8	Kab Gresik	48 Km
PT IKPP Tangerang						9	Kab Kediri	90 Km
No	Kabupaten / Kota	Jarak						
1	Kab Lebak	112 Km						
2	Kab Serang	79 Km						
3	Kab Tangerang	16 Km						
4	Kota Cilegon	81 Km						
5	Kota Serang	56 Km						
6	Kota Tangerang	28 Km						
7	Kota Tangsel	27 Km						

Gambar 5.44 Jarak pabrik pulp dan kertas dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Banten, Jawa Barat, dan Jawa Timur

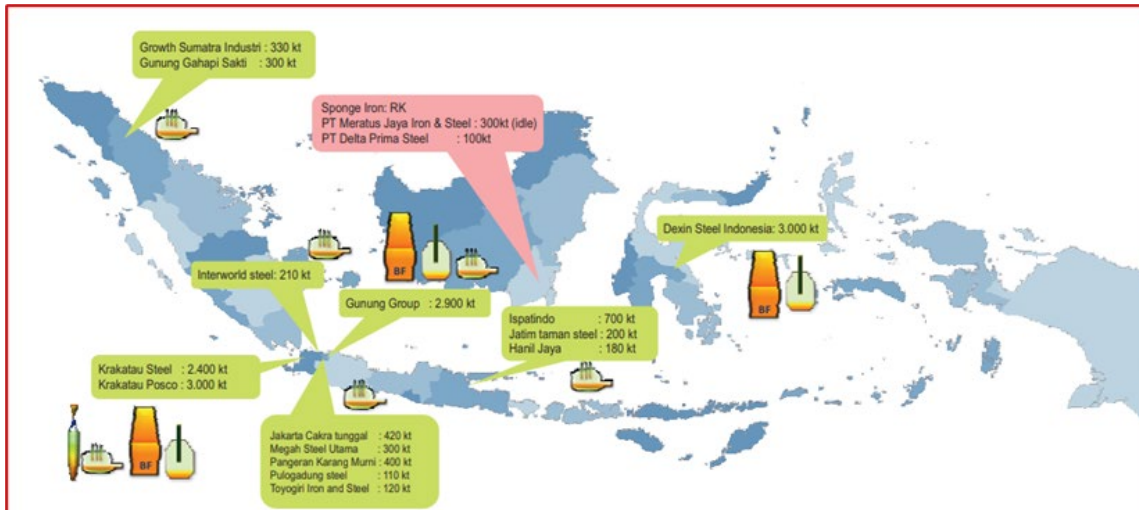
5.2.4 Industri Besi dan Baja

5.2.4.1 Kebutuhan Energi di Industri Besi dan Baja

Kapasitas terpasang industri baja di Indonesia tercatat sebesar 19,6 juta ton pada tahun 2020. Asosiasi Industri Besi dan Baja Indonesia (IISIA) melaporkan produksi baja Indonesia mencapai 15 juta ton pada 2022. Angka tersebut lebih tinggi 7,14% dibandingkan realisasi pada tahun sebelumnya sebesar 14 juta ton.

Cakupan Industri baja sangat luas, meliputi rentang nilai yang panjang dari hulu sampai hilir. Hulu dimulai dari proses hasil tambang berupa pasir besi menjadi bijih besi (*iron ore*) dilanjutkan menjadi pelet yang merupakan bahan baku untuk pembuatan besi baja. Selanjutnya diproses lagi pada tanur baja untuk menghasilkan produk baja antara yang menghasilkan bahan baku bagi industri hilirnya sebagai produk akhir.

Pembuatan besi dan baja membutuhkan bahan baku utama bijih besi, reduktor, baik dalam bentuk batubara, maupun gas alam, serta sumber energi (listrik, batubara, minyak, gas alam). Di bawah ini merupakan peta sebaran industri besi baja di Indonesia



Gambar 5.45 Sebaran Industri Besi Baja di Indonesia

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2022

Kapasitas perusahaan pengolahan dan peleburan besi dan baja yang telah beroperasi di Indonesia, berdasarkan data tahun 2021R, dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.11 Kapasitas produksi perusahaan baja berbahan baku biji besi

No.	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi 2020 (ton/tahun)
1.	Growth Sumatra Industri Medan	330.000
2.	Gunung Gahapi Sakti Medan	300.000
3.	Hanil Jaya Steel Works Surabaya	180.000
4.	Inter World Steel Mills Indo Tangerang	210.000
5.	Ispat Indo Surabaya	700.000
6.	Jakarta Cakra Tunggal Jakarta	420.000
7.	Jakarta Megah Steel Utama Jakarta	300.000
8.	Jatim Taman Steel I Surabaya	200.000
9.	Pangeran Karang Murni Jakarta	400.000
10.	Pulogadung Steel Jakarta	110.000
11.	Toyogiri Iron and Steel Jakarta	120.000
	Total	3.270.000

Sumber: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian, 2022

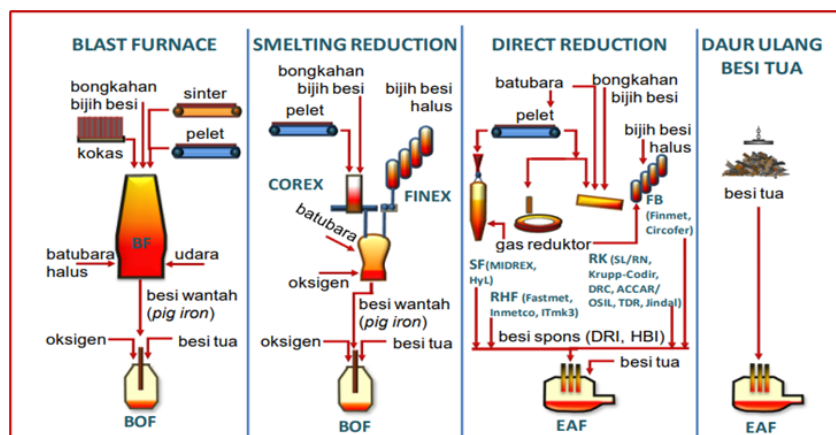
Tabel 5.12 Kapasitas produksi perusahaan baja berbahan baku bijih besi

No.	Nama Perusahaan	Kapasitas Produksi 2020 (ton/tahun)
1.	PT Krakatau Steel	3.400.000
2.	PT Krakatau POSCO (Tahap I)	3.000.000
3.	Gunung Group	1.000.000
4.	PT Krakatau POSCO (Tahap II)	3.000.000
	Total	10.400.000

Sumber: Pusat Data dan Informasi Kementerian Perindustrian, 2022

Teknologi pengolahan bijih besi menjadi produk besi spons atau *pig iron* dan baja dikelompokkan menjadi empat yaitu teknologi *blast furnace*, teknologi *smelting reduction*, teknologi *direct reduction* dan teknologi daur ulang besi tua (*scrap*) dengan tanur listrik (*Electric Arc Furnace/EAF*).

Teknologi *blast furnace* merupakan teknologi yang dominan digunakan untuk memproduksi besi wantah (*pig iron*) sebagai bahan baku untuk menghasilkan baja. Keunggulan teknologi *blast furnace* adalah efisiensi energi yang baik dan produktivitas tinggi. Daur ulang besi tua (*scrap*) dengan EAF menduduki posisi kedua untuk produksi baja, diikuti oleh teknologi *direct reduction* dan teknologi *smelting reduction*. Teknologi *smelting reduction* yang sudah teruji di industri adalah teknologi Corex dan Finex yang telah dikembangkan sejak 1970-an. Teknologi Corex mengolah bijih besi dalam bentuk pelet atau bongkahan sedangkan teknologi Finex mengolah bijih besi yang berukuran halus



Gambar 5.46 Teknologi pembuatan besi dan baja

Sumber: LIPI, 2021

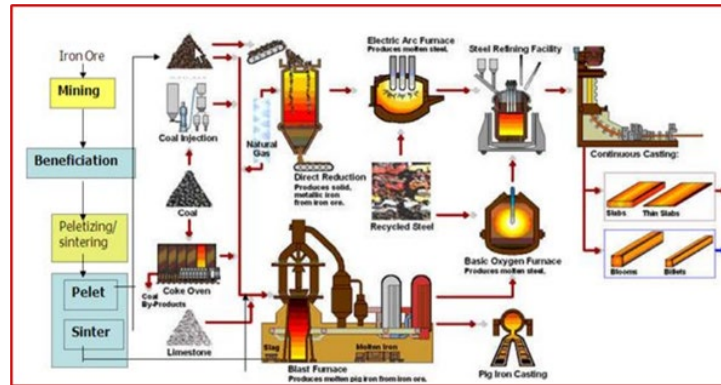
Teknologi HyL III masih digunakan hingga saat ini oleh PT Krakatau Steel (KS) karena pada saat dibangun, KS perlu menyesuaikan harga gas alam yang murah pada tahun 1970-an hingga 1990-an. Seiring peningkatan harga gas alam di Indonesia, maka ekspansi pabrik yang dilakukan oleh KS menggunakan teknologi *blast furnace*.

Tabel 5.13 Klasifikasi teknologi *direct reduction*

Reduktor: Gas (Gas H ₂ dan/atau CO berasal dari reformasi gas alam, gasifikasi batubara atau lainnya)	Reduktor: Batubara
Shaft furnace (SF): bijih besi pelet - Midrex - HyL	Rotary Kiln (RK): bijih besi pelet atau bongkahan - Krupp-Codir - SL/RN - DRC - ACCAR/OSIL - TDR - JINDAL
Fluidized Bed (FB): bijih besi halus - Fior / Finmet - Circofer / Circofer	Rotary Hearth Furnace (RHF): bijih besi pelet + batubara (SRP, self reducing pellet) - Fastmet - Inmetco - ITMk3

Sumber: LIPI, 2021

Berikut digambarkan bagan Proses Produksi Baja secara umum:



Gambar 5.47 Proses produksi baja

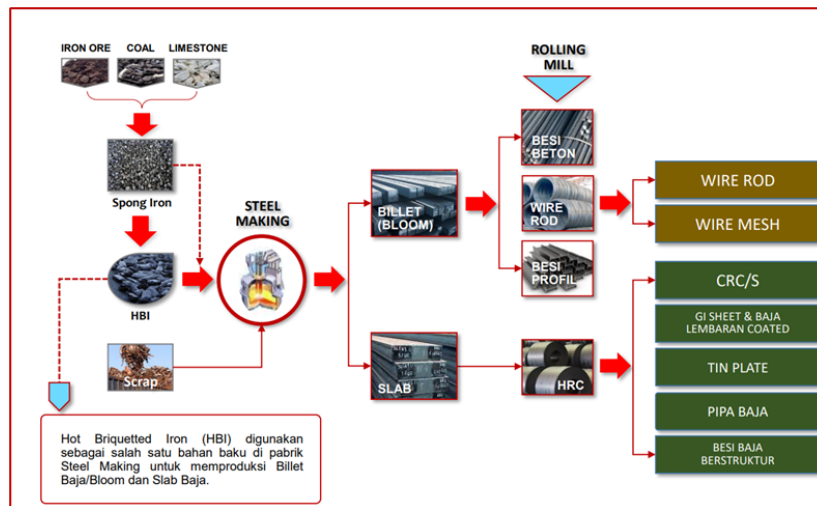
Sumber: IISIA, 2022

PT Krakatau Posco di Cilegon dan PT Dexin Steel Indonesia menjadi perusahaan baja dengan kapasitas produksi terbesar yaitu 3 juta ton. Gunung Group di Cikarang dan PT Krakatau Steel di Cilegon merupakan perusahaan *smelter* dengan kapasitas produksi di atas 2 juta ton. Perusahaan dengan kapasitas produksi tinggi seperti PT Krakatau Posco, PT Dexin Steel Indonesia dan Gunung Group menggunakan teknologi *Blast Furnace* dan *Basic Oxygen Furnace* (BOF) untuk mengolah bahan baku dari bijih menjadi baja.

Teknologi lain dalam produksi baja terdapat di PT Krakatau Steel. Pabrik *direct reduction plant* pembuatan besi spons mulai beroperasi di PT Krakatau Steel sejak tahun 1978 dengan menggunakan teknologi HyL I (proses *batch*) *direct reduction* dengan bijih besi dalam bentuk pelet yang dimpor dari Brasil. Pada tahun 1994, pabrik besi spons berikutnya juga dipasang dan dioperasikan oleh PT Krakatau Steel dengan menggunakan teknologi HyL III (proses kontinyu) *direct reduction*. Sponge iron *direct reduction* yang dihasilkan dari pabrik kemudian dikirim ke pabrik pembuatan baja untuk dilebur dan dimurnikan. Produk *electric arc furnace* yang dihasilkan oleh PT Krakatau Steel adalah baja lembaran, baik dalam bentuk *Hot Rolled Coil* (HRC) maupun *Cold Rolled Coil* (CRC).

Perusahaan lain dengan kapasitas produksi lebih rendah yang terletak di perkotaan seperti Surabaya, Jakarta, dan Medan menggunakan *electric arc furnace scrap* sebagai teknologi produksi baja dengan bahan baku. Pada bulan Juli 2012, PT Delta Prima Steel mengoperasikan pabrik pembuatan besi spons berteknologi *direct reduction rotary kiln* dengan kapasitas produksi 100.000 ton per tahun.

Hanya ada dua perusahaan yang melakukan pengolahan bijih besi menjadi besi spons (*sponge iron*), yaitu PT. Meratus Jaya Iron & Steel dan PT. Delta Prima Steel dengan kapasitas produksi masing-masing sebesar 315 ribu ton dan 100 ribu ton



Gambar 5.48 Jenis poduk industri baja berdasarkan proses produksi baja

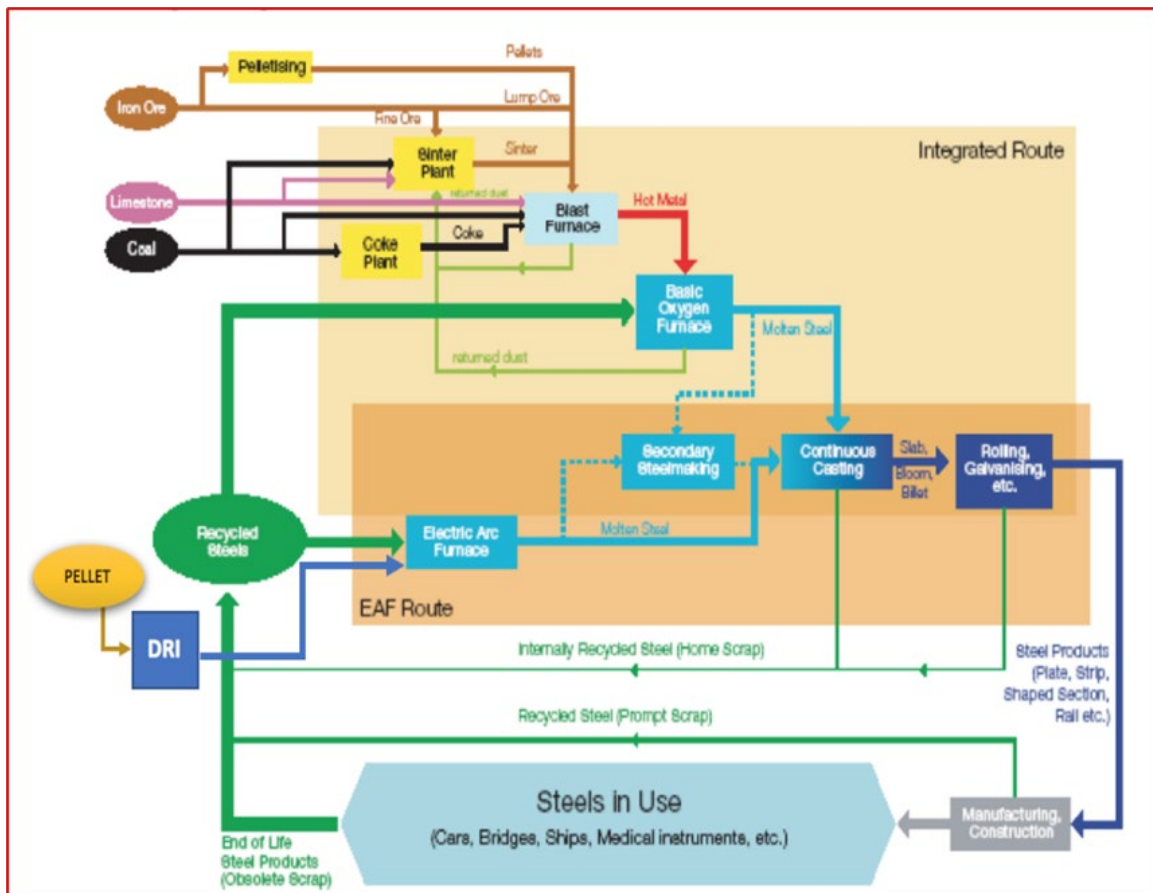
Sumber: IISA, 2022

Industri baja merupakan industri pengonsumsi energi secara intensif, dengan komponen biaya energi menempati urutan kedua dalam struktur biaya produksi di industri baja, yaitu sekitar 15 – 20 persen. Pada industri baja terpadu berbasis gas, energi listrik menempati urutan pertama sebesar 60 persen dari total biaya energi disusul oleh gas alam dan BBM.

Khusus untuk Krakatau Steel & Groups, beberapa perusahaan di dalamnya memanfaatkan gas bumi untuk berbagai keperluan. Gas bumi tersebut dipasok oleh PT PGN, Tbk. dan Pertamina EP, dengan sebagian besar gas dipasok oleh PT PGN, Tbk. Untuk PT Krakatau Steel (Persero), Tbk. gas bumi digunakan dalam proses produksi baik untuk reduksi maupun meningkatkan temperatur material; sedangkan untuk PT Krakatau Daya Listrik, gas bumi digunakan sebagai energi primer pembangkit listrik. Dua 15 perusahaan tersebut merupakan dua perusahaan dengan jumlah porsi konsumsi gas bumi terbesar, yaitu 15 BBTUD untuk PT Krakatau Steel (Persero) Tbk. dan 13,5 BBTUD untuk PT Krakatau Daya Listrik

Pada proses pembuatan baja menggunakan EAF, tipikal konsumsi spesifik listrik sekitar 600 – 800 kWh per ton *slab/billet* dan dipengaruhi oleh jenis bahan baku, kapasitas EAF serta daya transformer. Pada proses *hot rolling*, tipikal konsumsi spesifik listrik sekitar 100 – 150 kWh/ton dan dipengaruhi oleh ukuran produk (tebal, lebar, diameter) serta kapasitas motor (Kementerian Perindustrian, 2020)

Salah satu contoh pola penggunaan energi di pabrik baja ditunjukkan pada gambar berikut ini



Gambar 5.49 Pola penggunaan energi di pabrik baja

Sumber: Kementerian Perindustrian, 2017

5.2.4.2 Potensi Pemanfaatan RDF di Industri Besi dan Baja

Proyeksi kebutuhan energi di sektor besi dan baja terbagi dalam beberapa sub sektor pengguna energi utama. Pada industri *Hot Rolled Coil* (HRC), kebutuhan energi listrik sekitar 1.046,78 GWh per tahun. Produksi baja di lini produksi EAF (*Electric Arch Furnace*), konsumsi listrik dari proses ini sekitar 5.473,51 GWh per tahun. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian, kebutuhan energi bahan bakar (*fuel*) di industri besi dan baja terintegrasi sekitar 23 juta GJ per tahun.

Diasumsikan laju substitusi panas sebesar 1% dari kebutuhan energi termal atau sebesar 230.000 GJ disuplai oleh RDF, dan asumsi nilai kalor RDF sebesar 12,55 GJ/ton, maka potensi kebutuhan RDF untuk industri ini diperkirakan sebesar 18.326 ton per tahun.

5.2.4.3 Tantangan Pemanfaatan RDF di Industri Besi dan Baja

Pada saat ini, industri besi dan baja merupakan industri yang kurang berpotensi terhadap pemanfaatan RDF. RDF tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembuatan baja karena sifat proses industri ini adalah autogenous.

Penggunaan RDF sebagai bahan bakar dalam proses lain seperti pembuatan sinter (*sinter making*) atau tungku pemanasan ulang (*reheating furnaces*) kurang sesuai karena keduanya menggunakan pasokan

energi gas. Untuk mempelajari lebih lanjut, diperlukan kajian lebih kebutuhan mengenai kebutuhan modifikasi peralatan, penyesuaian proses, serta kualitas RDF untuk industri ini secara lebih detail.

Berikut ini gambaran awal mengenai dampak parameter RDF terhadap kinerja industri baja dan besi yang disarikan dari berbagai sumber.

Tabel 5.14 Dampak parameter RDF terhadap kinerja industri baja dan besi

Parameter RDF	Industri Besi dan Baja
Nilai kalor	Industri Besi dan Baja menggunakan gas sebagai bahan bakar utama dalam tungku. Gas memiliki nilai kalori lebih dari 6.000 kkal. RDF bukan bahan bakar homogen yang akan menyebabkan hilangnya energi di tungku yang harus dikompensasikan melalui penambahan jumlah penggunaan batubara dan gas.
Kualitas output	Saat dibakar RDF akan mengeluarkan material yang cenderung menghambat 'laju reaksi maju' dari bijih. Ini akan menyebabkan kerugian produksi besi murni dari bijih
Umpan input	Mode pasokan energi ke tungku sinter dan pemanas ulang adalah gas. RDF padat tidak akan menjadi bahan yang sesuai untuk aplikasi tersebut
Pembentukan slag	Pembakaran RDF akan menyebabkan produksi terak yang lebih tinggi, yang sebagian besar merupakan limbah dan sulit dikelola. Ini juga akan mengurangi produktivitas bijih dalam produksi proses.

5.2.4.4 Sebaran Lokasi Industri Besi Baja

Berikut lokasi pabrik besi dan baja yang diperkirakan berdasarkan jarak dengan kota/kabupaten terdekat dengan pabrik tersebut:

Sumut	Jawa Barat	Banten																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Growth Sumatera Industry, Medan</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kota Medan</td> <td>10 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kab Deli Serdang</td> <td>36 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kab Langkat</td> <td>68 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kota Binjai</td> <td>32 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Growth Sumatera Industry, Medan			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kota Medan	10 Km	2	Kab Deli Serdang	36 Km	3	Kab Langkat	68 Km	4	Kota Binjai	32 Km	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Gunung Raja Paksi Tbk.</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>17 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>20 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>58 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>79 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>73 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Gunung Raja Paksi Tbk.			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kab Bekasi	17 Km	2	Kota Bekasi	20 Km	3	Kota Depok	58 Km	4	Kab Bogor	79 Km	5	Kota Bogor	73 Km	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Krakatau Steel</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kota Tangsel</td> <td>96 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kab Lebak</td> <td>102 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kab Serang</td> <td>24 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kota Cilegon</td> <td>10 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Serang</td> <td>20 Km</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Kota Tangerang</td> <td>93 Km</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Kab Tangerang</td> <td>87 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Krakatau Steel			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kota Tangsel	96 Km	2	Kab Lebak	102 Km	3	Kab Serang	24 Km	4	Kota Cilegon	10 Km	5	Kota Serang	20 Km	6	Kota Tangerang	93 Km	7	Kab Tangerang	87 Km
PT Growth Sumatera Industry, Medan																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kota Medan	10 Km																																																																		
2	Kab Deli Serdang	36 Km																																																																		
3	Kab Langkat	68 Km																																																																		
4	Kota Binjai	32 Km																																																																		
PT Gunung Raja Paksi Tbk.																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kab Bekasi	17 Km																																																																		
2	Kota Bekasi	20 Km																																																																		
3	Kota Depok	58 Km																																																																		
4	Kab Bogor	79 Km																																																																		
5	Kota Bogor	73 Km																																																																		
PT Krakatau Steel																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kota Tangsel	96 Km																																																																		
2	Kab Lebak	102 Km																																																																		
3	Kab Serang	24 Km																																																																		
4	Kota Cilegon	10 Km																																																																		
5	Kota Serang	20 Km																																																																		
6	Kota Tangerang	93 Km																																																																		
7	Kab Tangerang	87 Km																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Gunung Gahapi Sakti, Medan</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kota Medan</td> <td>10 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kab Deli Serdang</td> <td>37 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kab Langkat</td> <td>69 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kota Binjai</td> <td>32 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Gunung Gahapi Sakti, Medan			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kota Medan	10 Km	2	Kab Deli Serdang	37 Km	3	Kab Langkat	69 Km	4	Kota Binjai	32 Km	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Pangeran Karang Murni, Bekasi</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>44 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>20 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>48 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>68 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>60 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Pangeran Karang Murni, Bekasi			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kab Bekasi	44 Km	2	Kota Bekasi	20 Km	3	Kota Depok	48 Km	4	Kab Bogor	68 Km	5	Kota Bogor	60 Km	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Krakatau Posco</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kota Tangsel</td> <td>107 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kab Lebak</td> <td>106 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kab Serang</td> <td>26 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kota Cilegon</td> <td>11 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Serang</td> <td>32 Km</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Kota Tangerang</td> <td>91 Km</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Kab Tangerang</td> <td>75 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Krakatau Posco			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kota Tangsel	107 Km	2	Kab Lebak	106 Km	3	Kab Serang	26 Km	4	Kota Cilegon	11 Km	5	Kota Serang	32 Km	6	Kota Tangerang	91 Km	7	Kab Tangerang	75 Km
PT Gunung Gahapi Sakti, Medan																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kota Medan	10 Km																																																																		
2	Kab Deli Serdang	37 Km																																																																		
3	Kab Langkat	69 Km																																																																		
4	Kota Binjai	32 Km																																																																		
PT Pangeran Karang Murni, Bekasi																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kab Bekasi	44 Km																																																																		
2	Kota Bekasi	20 Km																																																																		
3	Kota Depok	48 Km																																																																		
4	Kab Bogor	68 Km																																																																		
5	Kota Bogor	60 Km																																																																		
PT Krakatau Posco																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kota Tangsel	107 Km																																																																		
2	Kab Lebak	106 Km																																																																		
3	Kab Serang	26 Km																																																																		
4	Kota Cilegon	11 Km																																																																		
5	Kota Serang	32 Km																																																																		
6	Kota Tangerang	91 Km																																																																		
7	Kab Tangerang	75 Km																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Ispat Bukit Baja, Bekasi</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>8 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>34 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>46 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>66 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>60 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Ispat Bukit Baja, Bekasi			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kota Bekasi	8 Km	2	Kab Bekasi	34 Km	3	Kota Depok	46 Km	4	Kab Bogor	66 Km	5	Kota Bogor	60 Km	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Pulogadung Steel</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>57 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>33 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>35 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>67 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>61 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Pulogadung Steel			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kab Bekasi	57 Km	2	Kota Bekasi	33 Km	3	Kota Depok	35 Km	4	Kab Bogor	67 Km	5	Kota Bogor	61 Km																								
PT Ispat Bukit Baja, Bekasi																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kota Bekasi	8 Km																																																																		
2	Kab Bekasi	34 Km																																																																		
3	Kota Depok	46 Km																																																																		
4	Kab Bogor	66 Km																																																																		
5	Kota Bogor	60 Km																																																																		
PT Pulogadung Steel																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kab Bekasi	57 Km																																																																		
2	Kota Bekasi	33 Km																																																																		
3	Kota Depok	35 Km																																																																		
4	Kab Bogor	67 Km																																																																		
5	Kota Bogor	61 Km																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Jakarta Cakra Tunggal</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>43 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>19 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>48 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>68 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>63 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Jakarta Cakra Tunggal			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kab Bekasi	43 Km	2	Kota Bekasi	19 Km	3	Kota Depok	48 Km	4	Kab Bogor	68 Km	5	Kota Bogor	63 Km	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Toyogiri Iron & Steel, Bekasi</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>25 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>10 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>46 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>67 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>61 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Toyogiri Iron & Steel, Bekasi			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kab Bekasi	25 Km	2	Kota Bekasi	10 Km	3	Kota Depok	46 Km	4	Kab Bogor	67 Km	5	Kota Bogor	61 Km																								
PT Jakarta Cakra Tunggal																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kab Bekasi	43 Km																																																																		
2	Kota Bekasi	19 Km																																																																		
3	Kota Depok	48 Km																																																																		
4	Kab Bogor	68 Km																																																																		
5	Kota Bogor	63 Km																																																																		
PT Toyogiri Iron & Steel, Bekasi																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kab Bekasi	25 Km																																																																		
2	Kota Bekasi	10 Km																																																																		
3	Kota Depok	46 Km																																																																		
4	Kab Bogor	67 Km																																																																		
5	Kota Bogor	61 Km																																																																		
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Jakarta Steel Megah Utama, Cakung</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kab Bekasi</td> <td>43 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kota Bekasi</td> <td>20 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kota Depok</td> <td>48 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kab Bogor</td> <td>66 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Bogor</td> <td>60 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Jakarta Steel Megah Utama, Cakung			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kab Bekasi	43 Km	2	Kota Bekasi	20 Km	3	Kota Depok	48 Km	4	Kab Bogor	66 Km	5	Kota Bogor	60 Km		<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">PT Interworld Steel</th> </tr> <tr> <th>No</th> <th>Kabupaten / Kota</th> <th>Jarak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Kota Tangsel</td> <td>24 Km</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Kab Lebak</td> <td>80 Km</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Kab Serang</td> <td>78 Km</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Kota Cilegon</td> <td>75 Km</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Kota Serang</td> <td>56 Km</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Kota Tangerang</td> <td>11 Km</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Kab Tangerang</td> <td>20 Km</td> </tr> </tbody> </table>	PT Interworld Steel			No	Kabupaten / Kota	Jarak	1	Kota Tangsel	24 Km	2	Kab Lebak	80 Km	3	Kab Serang	78 Km	4	Kota Cilegon	75 Km	5	Kota Serang	56 Km	6	Kota Tangerang	11 Km	7	Kab Tangerang	20 Km																	
PT Jakarta Steel Megah Utama, Cakung																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kab Bekasi	43 Km																																																																		
2	Kota Bekasi	20 Km																																																																		
3	Kota Depok	48 Km																																																																		
4	Kab Bogor	66 Km																																																																		
5	Kota Bogor	60 Km																																																																		
PT Interworld Steel																																																																				
No	Kabupaten / Kota	Jarak																																																																		
1	Kota Tangsel	24 Km																																																																		
2	Kab Lebak	80 Km																																																																		
3	Kab Serang	78 Km																																																																		
4	Kota Cilegon	75 Km																																																																		
5	Kota Serang	56 Km																																																																		
6	Kota Tangerang	11 Km																																																																		
7	Kab Tangerang	20 Km																																																																		

Gambar 5.50 Jarak pabrik besi baja dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Daerah Istimewa Aceh, Sumatera Utara, Jawa Barat, dan Banten

Kalsel			Jawa Timur			Sulteng					
PT Meratus Jaya Iron & Steel, Tanah Bumbu			PT Ispat Indo			PT Hanil Jaya			PT Dexin		
No	Kabupaten / Kota	Jarak	No	Kabupaten / Kota	Jarak	No	Kabupaten / Kota	Jarak	No	Kabupaten / Kota	Jarak
1	Kab Tanah Bumbu	68 Km	1	Kab Sidoarjo	15 Km	1	Kab Sidoarjo	17 Km	1	Kab Morowali	40 Km
2	Kab Kota Baru	47 Km	2	Kota Surabaya	16 Km	2	Kota Surabaya	15 Km			
PT Delta Prima Steel			3	Kab Gresik	31 Km	3	Kab Gresik	33 Km			
No	Kabupaten / Kota	Jarak	4	Kab Lamongan	71 Km	4	Kab Lamongan	58 Km			
1	Kab Kota Baru	49 Km	5	Kab Jombang	68 Km	5	Kab Jombang	80 Km			
2	Kota Banjarmasin	109 Km	6	Kab Mojokerto	53 Km	6	Kab Mojokerto	44 Km			
3	Kota Banjarbaru	95 Km	7	Kota Malang	85 Km	7	Kota Malang	87 Km			
			8	Kab Malang	121 Km	8	Kota Batu	96 Km			
			9	Kota Batu	94 Km						
			PT Jatim Taman Steel								
			No	Kabupaten / Kota	Jarak						
			1	Kab Sidoarjo	17 Km						
			2	Kota Surabaya	18 Km						
			3	Kab Gresik	33 Km						
			4	Kab Lamongan	70 Km						
			5	Kab Jombang	63 Km						
			6	Kab Mojokerto	40 Km						
			7	Kota Malang	87 Km						
			8	Kota Batu	96 Km						

Gambar 5.51 Jarak terdekat pabrik besi baja dengan kota/kabupaten terdekat di Provinsi Kalimantan Selatan, Jawa Timur, Sulawesi Tengah

BAB 6 IDENTIFIKASI SPESIFIKASI RDF SESUAI INDUSTRI PEMANFAAT

RDF terutama dihasilkan dari sampah rumah tangga dan sampah sejenis rumah tangga seperti sampah pasar, sampah industri non B3, limbah komersial tidak berbahaya dan sejenisnya sehingga komponen penyusun RDF merupakan bahan yang heterogen. Oleh karena itu, kualitas dan spesifikasi RDF sangat penting bagi pemanfaat RDF.

Kualitas RDF sebagai bahan bakar alternatif pada umumnya dilihat dari tiga parameter utama yaitu: (1) NCV atau nilai kalor bersih (berkorelasi terhadap kinerja pembakaran), (2) Klorin (berkorelasi terhadap perilaku teknis) dan (3) Merkuri (berkorelasi terhadap dampak lingkungan). Merkuri dianggap sebagai salah satu polutan lingkungan global yang paling signifikan karena dalam jangka menengah dan panjang memiliki dampak negatif pada kesehatan.

Mengingat bahan baku RDF adalah sampah/limbah, maka pada saat pemanfaatannya, RDF harus ditangani dan diperlakukan sebagai limbah. Dengan demikian fasilitas pemanfaatan RDF perlu memperhatikan aturan terkait seperti persyaratan penanganan limbah, baku mutu emisi, keselamatan dan kesehatan kerja serta memperhitungkan resiko penggunaan RDF bagi stabilitas proses dan peralatan.

6.1 Spesifikasi RDF di Pembangkit

Di Indonesia, *boiler* PLTU PLN saat ini didesain untuk membakar batubara, sehingga RDF yang akan digunakan dalam proses *co-firing* harus mempunyai karakteristik relatif sama atau mendekati karakteristik batubara sehingga *co-firing* dapat beroperasi dengan aman serta tetap dapat menjaga keandalan dan *lifetime boiler* berikut peralatan pendukungnya. Berikut ini kriteria batubara yang umum digunakan sebagai bahan bakar di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara.

Parameter	Unit	Bitumi nous	Sub Bi tuminous
		Ar	Ar
Ultimate			
Carbon	%	48.61	43.82
Hydrogen	%	3.75	3.37
Nitrogen	%	1.09	0.68
Oxygen	%	13.95	13.22
Proximate			
Total Moisture	%	24.32	35.84
Ash content	%	7.66	2.96
Volatile matter	%	34.43	30.97
Fixed carbon	%	33.59	30.24
Total sulphur	%	0.63	0.11
Gross calorific value	kCal/kg	4897	4199
Hardgrove Grindability Index		47	55
Bulk Density	kg/m ³	900	900
AFT Softening Reducing		1180	1200
Chlorine			

Gambar 6.1 Spesifikasi batubara di pembangkit

Sumber: PLN, 2020

Agar dapat digunakan sebagai bahan bakar parsial di PLTU batubara, kriteria mutu minimum RDF antara lain: (1) ukuran (mm, sisi terpanjang), (2) NCV (kkal/kg), (3) kadar air (%), (4) kadar abu (%), (5) kadar klorin (%) dan (6) kadar belerang (%).

Perlu dipahami bahwa persentase RDF dalam campuran bahan bakar, jenis RDF yang digunakan, teknologi produksi RDF, penanganan bahan bakar, dan rangkaian teknologi untuk proses pembakaran bersama, karakteristik campuran bahan bakar yang berbeda, dan efek sinergis dari senyawa yang dilepaskan dapat menyebabkan sejumlah implikasi teknis di sistem pembangkit yang terkait dengan pengendapan abu, pembentukan polutan, korosi pada peralatan pemrosesan dan komposisi abu terbang.

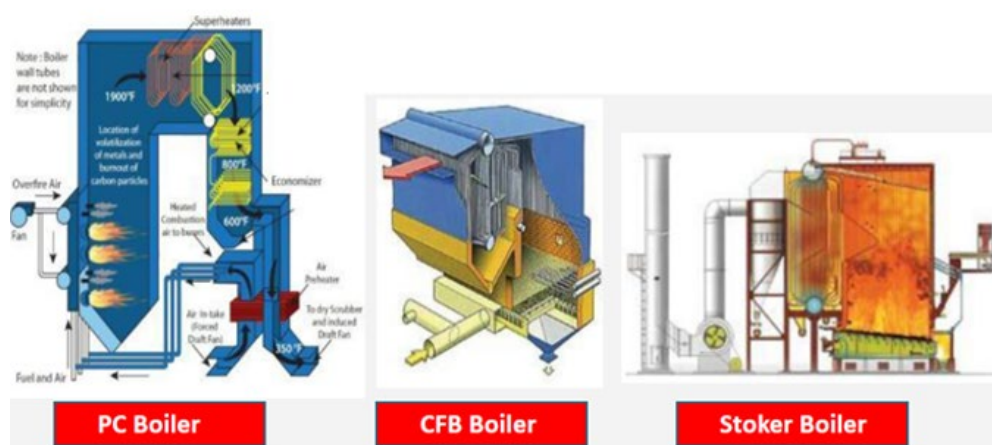
Tahapan program *co-firing* RDF di PLTU batubara antara lain melakukan *review* desain *boiler* PLTU eksisting, melakukan *survey feedstock* RDF, membuat pemodelan menggunakan *software*, misalnya *Computational Fluid Dynamic* (CFD), uji bakar di laboratorium, *performance test*, evaluasi uji, dan komersialisasi *co-firing*.

Di Indonesia, uji coba *co-firing* RDF dan batubara dilakukan di PLTU Jeranjang Nusa Tenggara Barat milik PT Indonesia Power pada tanggal 19-20 Februari 2019. Pelet sampah dari Kabupaten Klungkung Provinsi Bali digunakan hingga 5% dari kebutuhan bahan bakar PLTU Jeranjang yang menggunakan *boiler* tipe *Circulating Fluidized Bed Combustion* (CFBC).

Uji coba dilakukan pada beban 25 MW dengan tahapan hari pertama uji operasional dan hari kedua uji stabilitas selama 5 jam. Hasil uji coba menunjukkan hasil yang positif dimana sebagian besar parameter operasi dalam batas aman dan emisi gas buang juga dalam batas normal. Namun demikian, perlu dicatat bahwa komposisi pelet sampah RDF tersebut terdiri dari campuran sampah organik dan anorganik (non PVC) dengan perbandingan 95%:5%.

Berdasarkan standar ASTM E856-83, Pelet sampah Klungkung Bali berkode RDF-5, yaitu limbah yang dapat dibakar (*combustible*) kemudian dipadatkan menjadi bentuk pelet atau *briquettes* (*densified* RDF) dengan NCV 2.767- 3.400 kkal/kg, kadar kelembaban (*moisture*) sekitar 6,6 - 15%.

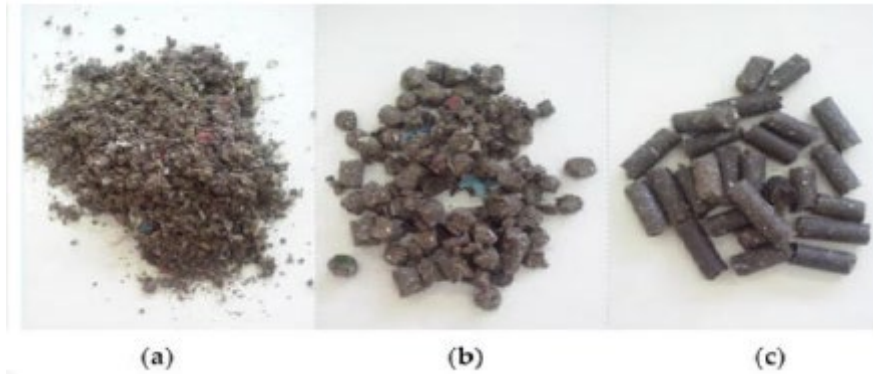
Pada saat ini, teknologi *boiler* yang dimiliki PLTU PT PLN terdiri dari 3 jenis teknologi *boiler* yaitu *Pulverized Coal* (PC), *Circulating Fluidized Bed* (CFB), dan *Stoker*, sebagai berikut:



Gambar 6.2 Ilustrasi jenis *boiler* PLTU PLN

Sumber: PLN, 2020

Co-firing dilakukan dengan teknik pembakaran dua atau lebih jenis bahan bakar dari material yang berbeda dalam satu sistem pembakaran yang sama. Hal ini dapat dilakukan pada 3 tipe *boiler* (*PC Boiler*, *CFB Boiler*, dan *Stoker Boiler*) dengan 3 metode, yaitu: (1) *Direct Co-firing*, opsi yang paling murah dan umum diterapkan, (2) *Indirect Co-firing*, biomassa digasifikasi dahulu menjadi *fuel gass*, (3) *Parallel Co-firing*, biomassa dibakar terpisah, populer digunakan di industri pulp dan kertas.



Gambar 6.3 Jenis RDF yang sesuai dengan *boiler* PLTU PLN (a) *Fluff* untuk *PC Boiler* ; (b) *Pellet* untuk *CFB Boiler*; (c) *Briquet* untuk *Stoker Boiler*
Sumber: PLN, 2020

Secara teoritis, teknologi CFB memungkinkan tingkat substitusi yang lebih tinggi dan persyaratan kualitas terkait nilai kalor, ukuran partikel dan kadar abu lebih rendah.

Pada metode *direct co-firing*, RDF dicampur melalui peralatan penggiling dan pengumpan yang sama atau terpisah kemudian dibakar bersama dengan batubara di dalam *boiler* yang sama Metode ini merupakan cara pembakaran bersama yang paling banyak diadopsi oleh *pulverized coal boiler*.

Metode *indirect co-firing* memerlukan peralatan tambahan seperti *gasifier* RDF. RDF terlebih dahulu digasifikasi menjadi *syngas* dalam *gasifier* sebelum diumpankan ke dalam *boiler* batubara untuk pembakaran. Kelebihan dari metode ini adalah proses pemurnian *syngas* meminimalkan dampak pencemaran dari pembakaran langsung.

Metode *parallel co-firing* memerlukan investasi pembangunan *boiler* berbahan bakar RDF yang terpisah, kemudian uap yang dihasilkan dari *boiler* RDF diumpankan ke dalam sistem uap *boiler* berbahan bakar batubara. Pendekatan ini menggunakan *boiler* RDF yang terpisah dari *boiler* batubara yang memungkinkan pemanfaatan RDF lebih maksimal, namun biasanya digunakan pada produk sampingan untuk pabrik kertas (misal kulit kayu, limbah kayu).

Para ahli berpendapat setidaknya terdapat tiga potensi masalah dari *co-firing* RDF dan batubara, yaitu korosi pada *tube* perpindahan panas, serta kualitas abu terbang (*fly ash*), dan emisi yang dihasilkan. Namun demikian pada tahun 2009, PLTU batubara Italia yang berlokasi di Fusina-Venice milik ENEL “Andrea Palladio” kapasitas 320 MW unit 4, telah sukses melakukan *co-firing* dengan perbandingan 95% batubara bituminus dan 5% pelet sampah menghasilkan emisi yang rendah serta efisiensi termal hingga 35%. Pelet sampah yang dibutuhkan adalah 6,7 t/h.

Kandungan klorin adalah salah satu faktor pembatas yang paling penting pada proses *co-firing*. Pembakaran RDF dengan kandungan klorin yang tinggi disinyalir dapat menyebabkan korosi, *slagging*, dan *fouling* pada *boiler*. Keberadaan klorin juga dapat meningkatkan emisi asam klorida dan menyebabkan terbentuknya Dibenzodioksin poliklorinasi dan Dibenzofuran poliklorinasi.

Saat dibakar, kandungan klorin dari sampah dapat menyebabkan pembentukan asam klorida (HCl) dan pelepasan dioksin (PCDD/F). Merkuri dapat terlepas dengan gas buang pada pembakaran karena tekanan uap yang tinggi dan volatilitas.

Faktor utama yang menciptakan terak dan penyebab *fouling* adalah komposisi abu, viskositas terak, rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, dan rasio asam/basa. Oleh karena itu, ukuran partikel RDF menjadi pertimbangan penting pada proses *co-firing*, karena partikel yang besar dapat menghasilkan inti yang mendorong reaksi pembentukan terak. Karena bagian tidak mudah terbakar partikel RDF akan berbeda dari batubara, maka keduanya akan memiliki dampak yang berbeda pada *fouling* dan *slagging*.

Korosi permukaan logam juga menjadi perhatian ketika RDF dibakar di *boiler*. Dipicu oleh suhu tinggi, maka korosi cair dapat terjadi karena alkali sulfat dan reaksi reduksi di dalam *boiler* dapat membuat agen korosif seperti CO dan H_2S .

Berikut ini analisis mengenai efek parameter RDF sebagai *co-firing* batubara di PLTU:

(1) Efek Kadar Kelembaban/*Moisture Content* (MC)

Membakar campuran RDF dengan batubara di *boiler* batubara dengan *burner* yang sama dapat menyebabkan terjadinya *shortage* bahan bakar karena perbedaan kadar *moisture*. RDF umumnya memiliki MC yang lebih tinggi dibandingkan batubara, yang dapat bervariasi secara signifikan tergantung sumber sampah dan proses pengolahan sampah menjadi RDF. Kadar *moisture* yang tinggi dapat menyebabkan masalah pengapian dan penurunan suhu pembakaran maksimum.

Hal ini dapat menghambat pembakaran bahan bakar RDF dan mengakibatkan emisi CO, memicu pembentukan jelaga (bahan berkarbon halus yang tidak terbakar) serta pembentukan dan emisi Hidrokarbon Aromatik Polisiklik (PAH), yang semuanya terkait dengan dampak lingkungan dan sosial.

(2) Efek *Bulk Density* dan Ukuran Partikel

Faktor teknis lain yang dapat menyebabkan lambatnya pembakaran RDF adalah distribusi ukuran partikel (*Particle Size Distribution*, PSD) yang tidak sesuai desain *boiler*. Ukuran RDF yang relatif besar dibandingkan batubara serta tidak seragam dapat mengakibatkan partikel RDF jatuh melalui tungku tanpa terbakar sepenuhnya. Pencampuran dan pembakaran RDF dengan batu bara secara sempurna tidak dimungkinkan karena pemisahan kedua bahan tersebut didorong oleh perbedaan densitas dan bentuk partikel.

Bentuk RDF yang diumpankan ke dalam ke dalam *boiler* (dalam bentuk bubuk, *fluff*, kubus, pelet, briket atau butiran) akan mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk pemanasan dan pembakaran relatif terhadap batubara, berpotensi meningkatkan waktu tinggal RDF di *boiler* dan dengan demikian berpotensi meningkatkan biaya operasional dan pemeliharaan.

Laju pembakaran sangat erat kaitannya dengan nilai kerapatan. Semakin tinggi kerapatan briket RDF maka semakin lambat laju pembakaran.

Reduksi ukuran RDF hingga sekecil ukuran batubara bubuk (*pulverized coal*) umumnya tidak layak secara ekonomi karena densitas curahnya yang rendah, ukuran dan bentuk partikel RDF yang tidak seragam, serta masalah kegetasan elastisitas yang terlalu bervariasi (misalnya kayu dan *plastic film*).

(3) Efek pada Peralatan Proses

Kandungan klorin RDF yang umumnya lebih tinggi dibandingkan batubara dapat menyebabkan efek berbahaya pada sistem pembakaran dan lingkungan. Pelepasan klorin yang terkandung dalam RDF mendorong penguapan alkali yang terikat secara organik dalam RDF untuk membentuk alkali klorida (misalnya NaCl dan KCl).

Alkali klorida dapat memperburuk deposisi abu pada permukaan pemanas, dan menyebabkan korosi pada elemen struktural dari peralatan pembakaran, karena klorida menembus film pasif kromium dan besi dalam baja yang memicu terjadinya korosi. Semakin tinggi rasio logam alkali:klorin dalam bahan bakar (yaitu $(Na + K)/Cl > 1$) semakin jelas efek tersebut.

Korosi suhu tinggi juga dapat dikaitkan dengan seng (Zn) dan Pb klorida, serta Zn/Pb bromida yang menunjukkan sifat fisik dan kimia yang mirip dengan klorin

Sebagian alkali klorida juga dapat bereaksi dengan senyawa sulfur dan aluminium silikat berbentuk gas. Reaksi alkali *chlorides* dengan senyawa aluminium silikat dapat membentuk kalium aluminium-silikat, yang karena suhu lelehnya yang tinggi dapat menyebabkan pengurangan deposisi abu dalam *boiler* dan efek korosifnya. Produk reaksi alkali klorida dengan gas sulfur adalah alkali sulfat (misalnya K_2SO_4) yang dapat menghasilkan efek korosif yang lebih kecil pada *boiler*, karenanya membatasi efek KCl pada permukaan perpindahan panas.

Efek tandingan dari reaksi alkali klorida dengan belerang dan aluminosilikat, adalah pelepasan HCl. HCl dapat meningkatkan retensi sulphur dalam *slag* dan *fly ash* melalui pembentukan sulfat dan alkali aluminium silikat atau dapat membentuk H_2SO_4 ketika dilepaskan ke dalam gas buang. H_2SO_4 adalah agen yang sangat korosif yang mengembun pada permukaan partikel abu. Selain itu, HCl juga dapat bereaksi dengan CaO, menyebabkan peningkatan alkali klorida dalam abu terbang, sehingga mempertahankan jumlah Cl. Retensi sulfur dalam *fly ash* juga dapat didorong oleh adanya peningkatan jumlah Ca yang ditemukan dalam SRF, yang mendukung produksi kalsium sulfat.

Jika belerang tidak ada dalam jumlah yang cukup dalam sistem, amonium sulfat dapat disuntikkan ke dalam gas buang setelah pembakaran untuk membantu konversi gas kalium klorida menjadi kalium sulfat, yang menghasilkan pengurangan laju korosi dan pengendapan sebesar 50%. Penggunaan aditif berkorelasi dengan biaya tambahan.

(4) Efek sinergis dari kandungan abu dan logam alkali dan alkali tanah

Efek pembakaran bersama RDF dengan batubara pada gas buang dan pembentukan abu sebagian besar tergantung pada kandungan logam alkali dan alkali tanah (misalnya K, Na, Ca), dan kandungan Cl, P, Al, dan Si dalam bahan bakar. Unsur alkali dan alkali tanah dalam RDF seringkali dalam bentuk ionik atau organik, yang lebih mudah menguap daripada bentuk mineralnya.

Akibatnya, elemen-elemen ini lebih mudah menguap selama pembakaran bersama, mempengaruhi perilaku peleburan abu dan berpotensi menyebabkan peningkatan deposisi abu di *boiler*. Deposisi abu dapat dikategorikan menjadi *slagging* dan *fouling*. Terak mengacu pada pengendapan abu logam alkali cair di bagian tahan api suhu tinggi dari *boiler* dimana perpindahan panas radiasi dominan, sedangkan pengotoran terjadi di zona perpindahan panas konvektif *boiler* karena akumulasi endapan abu.

Deposisi abu dapat memperburuk korosi dalam tabung perpindahan panas, mengurangi efisiensi pembakaran, yang mengarah ke implikasi teknis dan ekonomi lebih lanjut karena kerusakan komponen pembakaran dan *boiler* dan selanjutnya peningkatan biaya operasi dan pemeliharaan.

Logam alkali dan alkali tanah juga dapat menyebabkan keracunan katalis berbasis vanadium yang digunakan dalam sistem reduksi katalitik selektif (SCR), yang digunakan untuk emisi reduksi NO_x, yang mempengaruhi kinerjanya.

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh jelaga, PAH, dan emisi debu dan efek terkait pada kesehatan manusia; peningkatan operasional dan biaya perawatan yang diperlukan untuk mengurangi efek korosi pada peralatan pembakaran dan penanganan abu terbang yang tidak bisa lagi digunakan oleh industri produksi beton perlu dihitung dengan hati-hati sehingga biaya yang terkait dengan penanganan RDF tidak membebani fasilitas pembangkit.

Berikut ini dirangkum pengaruh parameter RDF terhadap fasilitas PLTU batubara:

Tabel 6.1 Parameter RDF dan dampaknya pada proses *co-firing* pembangkit batubara

Parameter RDF	Dampak Teknis	Dampak Lingkungan	Dampak Ekonomi
Kadar air lebih tinggi	Menurunkan NCV dapat menyebabkan masalah pengapian dan pembakaran tidak sempurna. Menyebabkan emisi polutan yang tidak terbakar seperti CO, jelaga, dan PAH	Jelaga dapat menyebabkan degradasi lingkungan karena pembentukan kabut dan hujan asam PAH sangat beracun, mutagenik dan/atau karsinogenik bagi mikroorganisme	Biaya investasi yang lebih tinggi karena retrofit <i>boiler</i> untuk mengatasi masalah pembakaran Biaya investasi yang lebih tinggi untuk pabrik dan <i>burner</i> terpisah untuk menangani pembakaran tidak sempurna
<i>Bulk density</i>	Masalah pengumpanan bahan bakar		Biaya investasi tambahan untuk penyimpanan, transportasi, penanganan dan pengumpan terpisah dari fasilitas eksisting
Ukuran partikel	Menurunkan suhu pengapian Meningkatkan produksi CO ₂ Mengurangi stabilitas injeksi bahan bakar karena aglomerasi partikel RDF	Peningkatan emisi CO ₂ karena stabilitas injeksi bahan bakar yang lebih rendah dan pengurangan fraksi <i>burnout</i>	Biaya yang lebih tinggi untuk pra-pengolahan dan pengurangan ukuran partikel Biaya utilitas yang lebih tinggi

Parameter RDF	Dampak Teknis	Dampak Lingkungan	Dampak Ekonomi
Kadar abu	Masalah utilisasi abu terbang karena kandungan logam alkali yang lebih tinggi (K dan Na)	Emisi partikulat	Tambahan biaya untuk penanganan abu terbang
Kadar Cl	Menginduksi korosi pada permukaan <i>boiler</i> ; Menurunkan kualitas abu terbang; Mengurangi efisiensi <i>boiler</i>	Pembentukan aerosol Degradasi lahan akibat pembuangan <i>fly ash</i>	Biaya operasional dan pemeliharaan yang lebih tinggi karena korosi; Biaya tambahan untuk pembuangan abu terbang
Alkali dan logam alkali tanah (e.g. K, Na, Ca, Mg)	Slagging dan fouling pada peralatan boiler Korosi penukar panas dan superheater Keracunan sistem katalis SCR menurunkan efisiensi pengurangan emisi NOx Ca mendukung pembentukan kalsium sulfat menahan lebih banyak sulfur dalam abu	Pembentukan aerosol	Biaya operasional dan pemeliharaan yang lebih tinggi karena meningkatnya pengotoran dan korosi, serta keracunan katalis SCR Biaya tambahan untuk pembuangan abu terbang
Silika	Mendukung pembentukan abu dan pengendapannya yang menyebabkan erosi tabung perpindahan panas		
<i>Potentially toxic elements</i> (PTEs) dan partikel halus	Peningkatan potensi logam berat yang terperangkap dalam abu Masalah pemanfaatan dan pembuangan abu Meningkatnya pembentukan partikel submikron (<0,2 μm)	Emisi unsur yang sangat mudah menguap seperti Hg, Cd dan Talium (Tl) Pembentukan aerosol	Biaya operasional dan pemeliharaan yang lebih tinggi karena erosi yang berkepanjangan

Persyaratan mutu dan metode uji syarat mutu bahan bakar jumptan padat dan metode uji untuk pembangkit sesuai tabel berikut ini:

Tabel 6.2 Spesifikasi standar bahan bakar jumptan padat untuk pembangkit listrik

No	Parameter uji	Satuan, min./maks.	Kelas			Metode uji
			1	2	3	
1	Kadar material organik ^{a)}	%, min.	Organik ≥ 95	87,5 ≤ organik < 95	80 ≤ organik < 87,5	Lihat 6.1
2	<i>Sizing</i>					
	Fluff	Minimum - mm - Mesh No.	0,297 50	0,297 50	0,297 50	Lihat 6.2
		Maksimum - mm - Mesh No.	2,38 8	2,38 8	2,38 8	
	Pellet					
	Diameter	mm, min.	6 ± 1,0	6 ± 1,0	6 ± 1,0	Lihat 6.2
		mm, maks.	10 ± 1,0	12 ± 1,0	12 ± 1,0	
	Panjang	mm	3,15 ≤ P ≤ 40	3,15 ≤ P ≤ 40	3,15 ≤ P ≤ 40	Lihat 6.2
	Bricket					
	Diameter	mm, min.	50	50	50	Lihat 6.2
		mm, maks.	70	70	70	
Panjang / tebal	mm, min.	20	20	20	Lihat 6.2	
	mm, maks.	70	70	70		
3	Densitas					
	<i>Fluff</i>	g/cm ³ , min.	0,4	0,4	0,4	SNI 8021
	<i>Pellet</i>	g/cm ³ , min.	0,8	0,7	0,6	SNI 8021
	<i>Bricket</i>	g/cm ³ , min.	0,9	0,9	0,9	SNI 8021
4	Kadar air ^{b)}	%-berat	< 15	< 20	< 25	SNI 01-1506
5	Kadar abu ^{b)}	%-berat	< 15	< 20	< 25	SNI 06-3730
6	Kadar Zat mudah menguap ^{b)}	%-berat, maks.	65	70	75	SNI 06-3730
7	Kadar Karbon Tetap ^{b)}	%-berat	> 15	> 10	> 5	SNI 06-3730
8	Nilai Kalor Netto ^{b)}	MJ/kg, <i>mean</i> ^{d)}	≥ 20	≥ 15	≥ 10	SNI 01-6235
9	Kadar Sulfur total ^{b)}	%-berat	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	Lihat 6.3
10	Kadar Klorin ^{b)}	%-berat, <i>mean</i> ^{d)}	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1	Lihat 6.4
11	Kadar Merkuri (Hg) ^{b)}	mg/MJ, <i>median</i> ^{d)}	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	Lihat 6.5
		mg/MJ, 80 th <i>percentile</i> ^{d)}	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	

No	Parameter uji	Satuan, min./maks.	Kelas			Metode uji
			1	2	3	
12	Kadar Kalium (dalam K ₂ O)	%-berat, maks.	5	10	15	Lihat 6.6
13	Kadar Natrium (dalam Na ₂ O)	%-berat, maks.	2,5	2,5	2,5	
14	<i>Hardgrove Grindability Index (HGI)</i> ^{c)}	HGI, min.	35	35	35	Lihat 6.7
15	Titik leleh abu (IDT)	°C, min.	1.200	1.180	1.180	Lihat 6.8
CATATAN Pemilihan ukuran jumptan padat disesuaikan dengan kebutuhan jenis boiler.						

Keterangan:

^{a)}: Bahan organik dapat terbakar

^{b)}: *As received*

^{c)}: Khusus pelet yang digunakan pada PC boiler

^{d)}: Jumlah percontoh yang diambil sesuai kesepakatan produsen dan konsumen

Kriteria dari Peraturan Direktur PLN Nomor 1 tahun 2020 serta SNI Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP) mensyaratkan komposisi organik dalam RDF untuk *co-firing* minimal 95%, ukuran partikel sangat kecil dan persyaratan HGI mirip batubara sehingga pengolahan sampah menjadi RDF untuk tujuan *co-firing* memerlukan pengolahan awal yang panjang untuk menyesuaikan spesifikasi produk berdasarkan tipe *boiler* pada PLTU dan berkorelasi pada biaya pengolahan awal yang tinggi.

Kriteria mutu BBJB lebih sesuai untuk RDF yang berasal dari limbah biomassa.



Gambar 6.4 RDF dalam bentuk cacahan *fluff* (kiri) dan produk akhir RDF berbentuk *pellet* (kanan).

Bentuk *pellet* RDF ini akan digunakan pada PLTU Jeranjang.

Photo: University of Agriculture in Kraków, Balicka, 2020 INA News

RDF yang diproduksi oleh fasilitas TOSS Gerakan Ciliwung Bersih Jakarta, TOSS Batalyon Armed 7 Bekasi, TOSS Jepara, TOSS Desa Sampalan dan Desa Akah Klungkung, TOSS TPA Regional Kebon Kongok Lombok (saat ini dikembangkan menjadi Jeranjang Olah Sampah Setempat), dan TOSS PLN UP3 Kupang, rerata memiliki kalori antara 3.200 – 4.500 kcal/kg.

Pengeringan sampah menjadi RDF di fasilitas tersebut di atas menggunakan metoda peyueumisasi dengan kadar air produk dilaporkan sekitar 20%. Kadar abu (*ash content*) berkisar antara 2 – 25 persen tergantung jenis material sampah. Produk RDF tersebut rencananya akan diujicoba untuk kegiatan *co-firing* dengan PLTU PLN.

Pelet biomassa yang merupakan produk akhir memiliki diameter sekitar 10 mm dengan panjang antara 10-40 mm, nilai kalor antara 3.000-4.000 kkal/kg, dan kadar air hingga <20%. Dibandingkan dengan batu bara, pelet biomassa cenderung memiliki kandungan volatil yang lebih tinggi sementara kandungan abu dan belerang lebih rendah.

Kadar abu RDF merupakan perkiraan sisa abu setelah proses pembakaran sampah (atau RDF) sebagai bahan baku dalam proses termal. Kandungan abu harus berguna untuk pengolahan abu. Kadar abu TOSS Klungkung dilaporkan sekitar 19,24% sedangkan kebun Kongok sekitar 9,76%.

Tabel 6.3 Analisis *proximat* dan *ultimate* RDF *pellet* dari fasilitas Kebon Kongok

Analysis parameters	Sample marks		Unit	Basis	Standard methods
	Coal	Coal 95%+ RDF pellets 5%			
Proximate analysis:					
Moisture in air dried	17.13	14.44	%	adb	ASTM D.3173
Ash	5.10	7.70	%	adb	ASTM D.3174
Volatile matter	40.64	41.40	%	adb	ASTM D.3175
Fixed carbon	37.13	36.46	%	adb	ASTM D.3172
Ultimate analysis:					
Total sulphur	0.16	0.18	%	adb	ASTM D.4239
Carbon	54.34	54.03	%	adb	ASTM D.5373
Hydrogen	5.49	5.34	%	adb	ASTM D.5373
Nitrogen	0.89	0.93	%	adb	ASTM D.3176
Oxygen	34.02	31.82	%	adb	ASTM D.5374

Sumber: KLHK, 2020

Pilot project pemanfaatan RDF dari fasilitas Kebon Kongok di *boiler* PLTU PLN menghasilkan informasi sebagai berikut:

- (1) Nilai kalor pelet RDF lebih rendah dari batubara, sehingga aliran bahan bakar meningkat 4% pada kondisi pembebanan yang sama.
- (2) Secara umum distribusi suhu pada tungku bagian bawah tidak berubah secara signifikan. Sebaliknya, distribusi suhu di bagian atas tungku meningkat selama pembakaran bersama, kemungkinan disebabkan oleh perlambatan pembakaran karena waktu tinggal pelet.

Sebagai pembandingan di bawah ini contoh spesifikasi SRF yang digunakan sebagai *co-firing* pada kasus di Italia sebagai berikut:

Tabel 6.4 Persyaratan kualitas SRF ditetapkan dalam spesifikasi yang disepakati produsen dan pengguna akhir (pembangkit listrik tenaga batubara, 2016, Italia) - Kelas SRF yang diperlukan: 3:3:3– (ar: seperti yang diterima (*as received*); d: dasar kering (*dry basis*)).

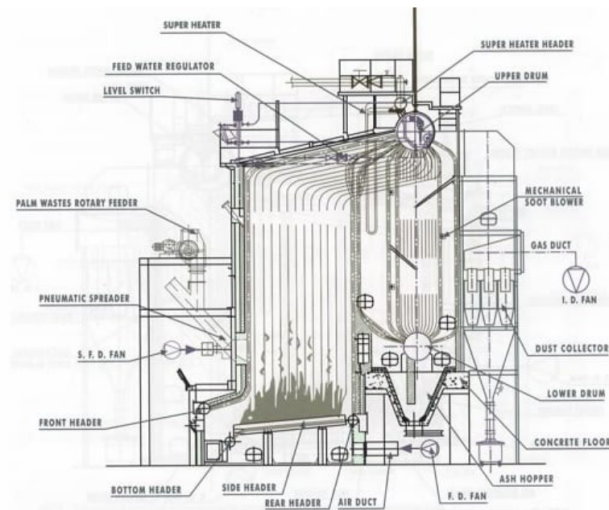
Parameter	Unit	Typical value	Limit value
Ash	%, d	≤20	≤20
Moisture	%, ar	≤15	≤15
NCV	MJ/kg, ar	value set in table 1 of 15539 for the required class code	value set in table 1 of 15539 for the required class code
NCV	MJ/kg, d	≥15	≥15
Cl	%, d	value set in table 1 of the EN 15539 standard for the required class code	value set in table 1 of the EN 15539 standard for the required class code
Sb	mg/kg, d	≤70	≤150
As	mg/kg, d	≤9	≤15
Cd	mg/kg, d	≤7	≤10
Cr	mg/kg, d	≤100	≤500
Co	mg/kg, d	≤7.5	≤100
Cu	mg/kg, d	≤1300	≤2000
Pb	mg/kg, d	≤200	≤600
Mn	mg/kg, d	≤400	≤600
Hg	mg/kg, d	value set in table 1 of the EN 15539 standard for the required class code	value set in table 1 of the EN 15539 standard for the required class code
Ni	mg/kg, d	≤40	≤200
Tl	mg/kg, d	≤1	≤10
V	mg/kg, d	≤7.5	≤150
Σ Heavy metals (a)	mg/kg, d	to be declared	to be declared

This agreed specification requires that SRF complies with UNI EN 15539 and the Italian UNI TR 11581
 (a) Sum of heavy metals does not include Hg, Tl and Cd according to EN 15539:2011

6.2 Spesifikasi RDF di Industri Pengolahan

Di sektor industri pengolahan, pengguna RDF adalah tungku (kiln) dan *boiler* atau ketel uap. Tungku umumnya digunakan untuk memanaskan, membakar, atau mengeringkan bahan baku untuk memproduksi bahan setengah jadi atau bahan jadi. *Boiler* adalah bejana atau tangki tertutup yang di dalamnya berisi air untuk dipanaskan. Energi panas yang dihasilkan dari uap air yang dikeluarkan *boiler* tersebut digunakan untuk berbagai kebutuhan, contohnya untuk memanaskan bahan baku, memutar turbin uap untuk menghasilkan energi listrik, dan sebagainya.

Bahan bakar utama tungku dan *boiler* yang dipilih adalah batubara atau bahan bakar padat lainnya seperti kayu, arang, sekam, cangkang sawit yang sebagian atau seluruhnya dapat digantikan oleh RDF.



Gambar 6.5 Ilustrasi *boiler* di Industri

Karena tujuan pemanfaatan RDF di industri adalah pemulihan energi dari limbah plastik, tekstil, kertas, dan organik, maka kualitas utama RDF sebagai bahan bakar pengganti adalah nilai kalor. Kualitas lain dari RDF yang perlu diperhatikan adalah kontaminan yang tidak mudah terbakar seperti kotoran dan tanah harus diminimalkan sehingga RDF dapat diterima industri

Nilai kalori adalah banyaknya energi panas yang diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar. Nilai kalori ini dibagi menjadi dua, yaitu:

- a) Nilai kalor tinggi atau *High Heating Value* (HHV) adalah kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar, tanpa kandungan air pada bahan bakar.
- b) Nilai kalor rendah atau *Low Heating Value* (LHV) adalah kalor yang dihasilkan pada proses pembakaran 1 kg bahan bakar dan sebagian dimanfaatkan untuk penguapan sehingga kandungan air pada bahan bakar akan habis.

Nilai HHV diperoleh menggunakan metode pengujian di laboratorium dengan menggunakan kalorimeter. Sedangkan nilai kalor bawah (LHV) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini: $LHV = HHV - 3.240 \text{ (kJ/kg)}$.

RDF umumnya merupakan campuran kertas, kayu, dan plastik. Nilai kalor RDF bervariasi antara 11 dan 18 MJ/kg. Komponen yang paling penting RDF dalam pemanfaatan di industri lainnya adalah klorin (Cl). Sampah memiliki konsentrasi Cl 0,5-1 wt-%, sedangkan angka masing-masing untuk RDF biasanya 1 atau bahkan >2 % sehingga pengendalian mutu RDF diperlukan secara ketat agar konsentrasi komponen tidak diinginkan tersebut dapat diminimalisir.

6.2.1 Spesifikasi RDF untuk Industri Semen

Pemanfaatan RDF selalu memiliki dampak terhadap proses. Jika RDF yang digunakan berjumlah sangat kecil, efek yang terjadi tidak terlihat. Berkaitan dengan potensi berkurangnya kapasitas produksi, berikut beberapa kriteria yang membatasi pemanfaatan RDF sehubungan dengan operasi kiln semen: (1) ukuran partikel RDF menentukan titik umpan; (2) kandungan nilai kalor RDF yang rendah; (3) kandungan air RDF yang tinggi; (3) homogenitas atau keseragaman RDF yang kurang; (4) kandungan klorin dan alkali RDF yang tinggi; (5) potensi kandungan logam berat; (5) batasan untuk senyawa yang berpengaruh pada kualitas klinker; (6) aspek kesehatan dan keselamatan.

Kesesuaian parameter RDF sebagai bahan bakar diperlukan untuk memastikan bahwa RDF yang dikirim ke pabrik semen memenuhi persyaratan sesuai izin yang dimiliki industri semen dan tidak akan berpengaruh negatif terhadap proses kiln. Misalnya, untuk menghindari masalah operasi dalam kiln, dampak dari RDF pada total input zat terbang (*volatile*) yang bersirkulasi di dalam sistem kiln, seperti klorin atau alkali, membutuhkan analisis sebelum penerimaan. Kriteria penerimaan khusus untuk komponen ini harus ditetapkan oleh masing-masing pabrik berdasarkan proses dan pada kondisi kiln tertentu.

Sebelum RDF dapat diproses di kiln semen, RDF harus lulus kriteria penerimaan limbah minimum tertentu berdasarkan peraturan lingkungan setempat yang berlaku, dampak pada operasi kiln, kualitas semen, emisi, dan kandungan logam berat.

Industri semen memproduksi semen berkualitas tinggi dan tidak dapat dikompromikan. Kualitas RDF sebagai bahan bakar akan berdampak langsung pada semen yang diproduksi karena abu bahan bakar di pabrik semen terikat secara kimia menjadi bagian dari klinker semen.

Oleh karena itu, RDF harus memenuhi persyaratan batas konsentrasi kontaminan seperti klorin, yaitu harus berada dalam kisaran 0,1%-0,15%. Ambang batas ini dapat ditingkatkan menjadi 0,5% hingga 1,1% *moisture content* (MC) harus dijaga di bawah 20%.

Pada umumnya untuk pemanfaatan RDF di pabrik semen diperlukan analisis asal: NCV, kadar *moisture*, kandungan klorin dan sulfur, kadar abu, dan analisis logam berat. Saat ini substitusi RDF terhadap batubara masih dikategorikan aman hingga 10% (sumber: Ketua ASI, 2023).

Untuk meningkatkan TSR bahan bakar alternatif termasuk RDF hingga 50% maka diperlukan pemasangan Unit *Bypass* dengan investasi tidak kurang dari \$10 Juta.

Di Indonesia, Kementerian Perindustrian menginisiasi spesifikasi RDF untuk industri semen sebagaimana ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 6.5 Spesifikasi RDF untuk industri semen di Indonesia

Quality Parameter	Unit	Limit	Quality Parameter	Unit	Limit
Caloric Value, min (NCV)	kcal/kg	≥ 3000	As	ppm	≤ 200
Cl	%	≤ 0.75	Cd	ppm	≤ 70
S	%	≤ 1	Cr	ppm	≤ 1500
Total Moisture	%	≤ 20	Pb	ppm	≤ 1000
Na2O	%	≤ 0.5	Sb	ppm	≤ 200
K2O	%	≤ 1	Co	ppm	≤ 200
MgO	%	≤ 2	Ni	ppm	≤ 1000
P2O5	%	≤ 1	Cu	ppm	≤ 1000
TiO2	%	≤ 0.5	Zn	ppm	≤ 5000
Hg	ppm	≤ 5	Se	ppm	≤ 50
V	ppm	≤ 1000			

Bentuk RDF yang dikehendaki oleh operasi di pabrik semen adalah *fluff* dengan ukuran butir < 50 mm. Sebagian besar kontaminan RDF, yaitu logam berat menjadi bagian dari matriks klinker. Senyawa lain seperti dioksin dan furan, yang terbentuk selama pembakaran, berdasarkan pabrik semen yang memanfaatkan RDF dengan TSR >50% di Eropa terbukti sangat kecil terlepas ke atmosfer.

RDF untuk kalsiner (nilai kalor 12 hingga 17 gigajoule per ton; granulometr: 50 hingga 80 milimeter). Produk RDF Cilacap Nilai Kalori berkisar diantara 3000 – 3300 Kcal/Kg, tetapi bisa mencapai 4000 kcal/kg jika disimpan lebih lama. *Moisture content* di bawah 25% , dan *Chlorine content* berkisar antara 0,2 – 0,4%.

Tabel 6.6 Spesifikasi RDF Cilacap

Description	Moisture (%)	NCV kcal/kg	Chlor %	Sulfur %	Ash %
Product	22,32	2.981	0,2	0,17	20,55
Oversize	22,45	3.348	0,22	0,15	17,16
Inert	22,51	1.796	0,22	0,17	29,33

Sumber: SBI, 2022

PT Indocement memberikan gambaran mengenai spesifikasi RDF yang dapat diterima di pabrik mereka.

Tabel 6.7 Spesifikasi RDF PT Indocement

Quality Parameter	Unit	Limit
Caloric Value, min (NCV)	kcal/kg	≥ 3400

Quality Parameter	Unit	Limit
Cl	%	≤ 0,6
Total Sulfur	%	≤ 0,1
Total Moisture	%	≤ 20
Na ₂ O	%	≤ 0.5
K ₂ O	%	≤ 1
MgO	%	≤ 2
P ₂ O ₅	%	≤ 1
TiO ₂	%	≤ 0.5
Hg	ppm	≤ 5
V	ppm	≤ 1000

RDF seringkali mengandung senyawa yang tidak diinginkan, seperti *phosphates*, *chlorine*, sulfur, logam berat, dan komponen minor lain yang akan mempengaruhi proses klinkerisasi di kiln, sehingga dalam pemanfaatannya diperlukan modifikasi desain peralatan pendukung di kiln semen serta modifikasi kondisi operasi pabrik untuk menjamin kualitas produk klinker yang diproduksi.

RDF memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan dengan batubara. Batubara yang digunakan industri semen memiliki nilai kalor sekitar 4.500 – 5.000 kkal/kg, sedangkan nilai kalor RDF berada di kisaran 2.500 – 3.500 kkal/kg.

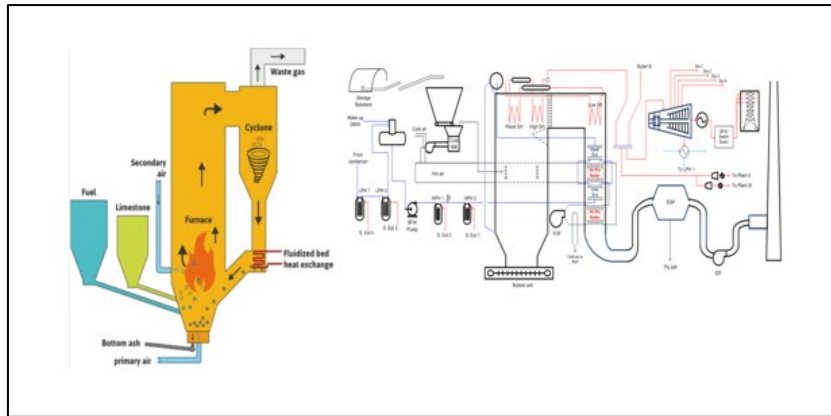
Oleh karena itu, substitusi kalori batubara dengan RDF hanya dapat diperoleh dengan laju massa RDF yang lebih tinggi, atau dengan pencampuran antara RDF dengan biomassa atau limbah lainnya yang memiliki nilai kalori lebih tinggi seperti *sludge oil*.

Pembakaran RDF dengan kandungan klorin yang tinggi dapat merugikan klinker semen. Namun, pembentukan ini klorida alkali yang mudah menguap dapat dikontrol dengan cara *by-pass* kiln. Faktor utama yang menciptakan terak dan menyebabkan *fouling* adalah komposisi abu, viskositas terak, rasio SiO₂/Al₂O₃ dan rasio asam/basa.

6.2.2 Spesifikasi RDF di Industri Pupuk

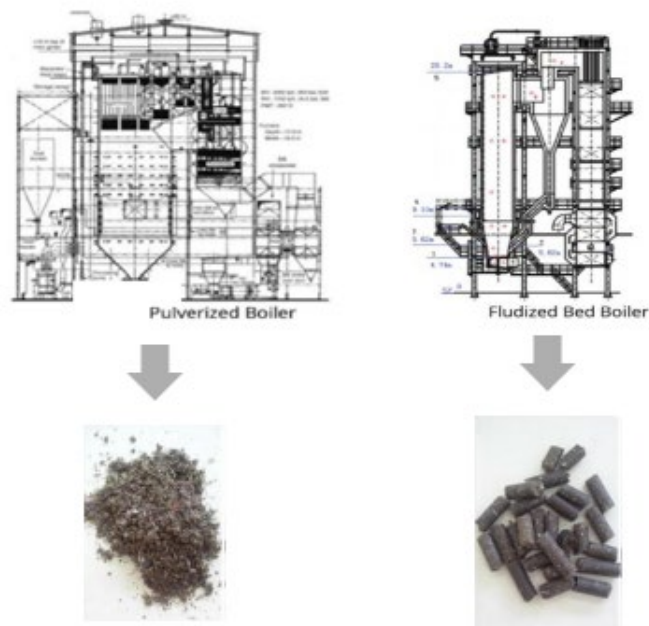
Industri ini paling berpeluang menggunakan RDF setelah industri semen terutama untuk industri yang memiliki sistem pembangkit *steam* dan listrik mandiri dengan teknologi *boiler* berbahan bakar batubara.

Pabrik Pupuk Sriwidjaja, Pupuk Iskandar Muda, dan Pupuk Kaltim menggunakan batubara sebagai bahan bakar *boiler* untuk menghasilkan *steam* melalui *Steam Turbin Generator* (STG). Berdasarkan teknologi yang digunakan, terdapat dua jenis *boiler* batubara di industri pupuk tersebut di atas yaitu (1). *Circulating Fluidized-Bed* (CFB) *Boiler* di PT Pupuk Kaltim (PKT) dan (2) *Pulverized Bed Boiler* PT Petrokimia Gresik (PKG) dan PT Pupuk Sriwidjaja Palembang (PSP). Kapasitas STG PT Pusri sebesar 23 MW dengan kapasitas *boiler* batubara sebesar 2 x 240 ton per jam sedangkan *boiler* milik PT. Pupuk Kaltim berkapasitas 2 x 220 ton per jam. Bagan di bawah ini memberikan gambaran *boiler* yang digunakan di industri pupuk di Indonesia.



Gambar 6.6 Ilustrasi *boiler* di Industri Pupuk

Agar dapat menggunakan RDF sebagai substitusi sebagian batubara (*co-firing*), maka spesifikasi RDF harus menyesuaikan spesifikasi batubara di atas sedangkan bentuk RDF perlu menyesuaikan tipe *boiler* yang digunakan, yaitu bentuk bubuk berukuran < 0,3 mm untuk *boiler* tipe *Pulverized* (PV) dan bentuk *pellet* untuk tipe CFB berukuran 3-30 mm.



Gambar 6.7 Jenis RDF berdasarkan tipe *boiler* di Industri Pupuk

Batubara yang digunakan saat ini oleh Industri Pupuk adalah batubara kalori rendah dan sedang (*Low Rank Calorie* dan *Medium Rank Calorie*). Spesifikasi batubara industri pupuk sebagai berikut:

- Nilai *Total Moisture* (% ar): 30
- *Ash Content* (% ar): 6
- *Volatile Matter* (% ar): 35
- *Fixed Carbon* (% ar): 29
- *Calorific Value* (kkal/kg, ar): 4500
- *Total Sulfur* (% adb): Max. 1

- *Ash Fusion Temperature (deformation) (oC)* 1216
- *Hardgrove Grindable Index* 52
- *Reactivity High Caking Characteristic: Non-caking*

Selain itu berikut perbedaan persyaratan spesifikasi batubara untuk dua tipe *boiler* di atas:

Temperature	Fuel	Fuel Sizing	Ash / Slagging
High (1100 - 1400°C)	Hard Coal 31 - 33, Lignite	<0,3 mm	Melted
Low (800 - 900°C)	Hard Coal, Lignite, Biomass, Waste	3 - 30 mm	Not Melted

Senyawa	PF	CFB
CaO	2-12	25
SiO ₂	40-55	26
SO ₃	0.5-6	10.8
Al ₂ O ₃	13-30	9.6
FE ₂ O ₃	4-17	15.4
MgO	1.8-8	0.8
Na ₂ O	0.3-0.7	0.4
LOI	0.7-15	2-12

Gambar 6.8 Persyaratan spesifikasi batubara untuk tipe *boiler* PF dan CFB

Khusus tipe *Pulverized Boiler*, batubara harus digiling hingga berukuran kurang lebih 300 µm kurang dari 2% dan berukuran kurang dari 75 µm sebanyak 70%-75%. Bahan bakar halus dihembuskan dan sebagian udara masuk menuju *boiler* melalui *burner nozzle*. Proses pembakaran terjadi pada rentang temperatur 1.300°C hingga 1700°C. Temperatur kerja bergantung pada jenis dan kualitas batubara yang digunakan. Partikel bahan bakar harus sehalus mungkin agar pembakaran terjadi secara sempurna dan waktu tinggal partikel dalam *boiler* hanya sekitar 2 hingga 5 detik.

Pembakaran dengan tipe FBC berlangsung pada suhu sekitar 840°C hingga 950°C. Karena suhu ini jauh berada di bawah suhu fusi abu, maka pelelehan abu dan permasalahan yang terkait di dalamnya dapat dihindari. Suhu pembakaran yang lebih rendah tercapai disebabkan tingginya koefisien perpindahan panas sebagai akibat pencampuran cepat dalam *fluidized bed* dan ekstraksi panas yang efektif dari *bed* melalui perpindahan panas pada pipa dan dinding *bed*. Kecepatan gas dicapai di antara kecepatan fluidisasi minimum dan kecepatan masuk partikel. Hal ini menjamin operasi *bed* yang stabil dan menghindari terbawanya partikel dalam jalur gas.

Pembakaran dengan *boiler* tipe ini memiliki kelebihan dibanding sistem pembakaran yang konvensional, fleksibel terhadap bahan bakar, efisiensi pembakaran yang tinggi dan berkurangnya emisi polutan yang merugikan seperti SO_x dan NO_x. Secara umum *burn-out*, pemulihan energi, kontrol emisi, dan operasi dapat lebih efisien. Bahan bakar yang dapat dibakar dalam *boiler* tipe ini adalah batubara, RDF, sekam padi, bagas dan limbah pertanian lainnya.

Untuk sistem pembangkit listrik berbahan baku batubara di industri pupuk, spesifikasi RDF dapat menggunakan rujukan SNI Bahan Bakar Jemputan Padat melalui mekanisme *co-firing* bersama batubara sesuai dengan jenis *boiler* yang tersedia.

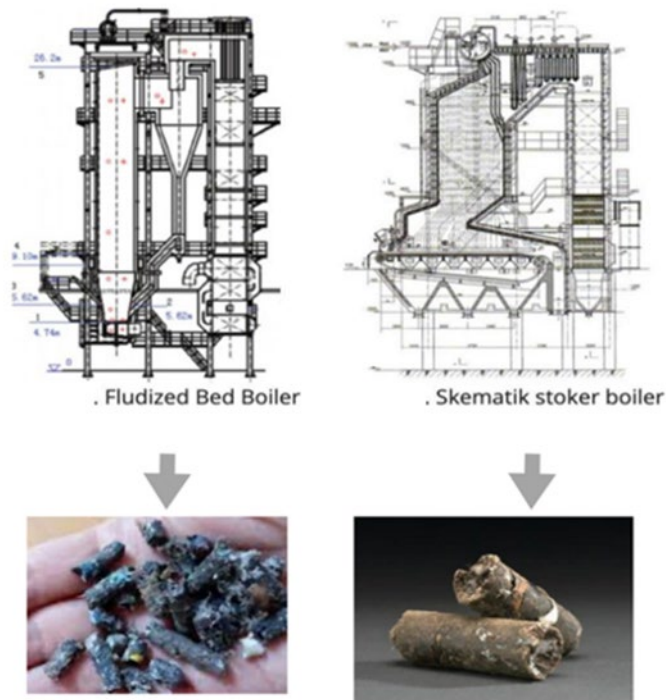
Desain proses *boiler* pembangkit steam/listrik industri pupuk beroperasi 24 jam non stop, sehingga dengan substitusi RDF terhadap batubara perlu dihitung potensi penurunan performa kerja *boiler* yang dapat memberi dampak terhadap penurunan efisiensi keseluruhan unit untuk menghasilkan daya

6.2.3 Spesifikasi RDF untuk Industri Pulp dan Kertas

Industri ini termasuk kategori sedang hingga rendah sebagai pemanfaat RDF. Meskipun terdapat potensi untuk memanfaatkan RDF, namun *boiler* industri pulp dan kertas eksisting di Indonesia tidak dirancang untuk membakar RDF. Pabrik pulp dan kertas dirancang menggunakan bahan bakar homogen seperti kulit kayu, serbuk gergaji, dan residu kayu lainnya, serta tidak dilengkapi peralatan untuk menangani plastik atau senyawa organik terklorinasi. Karena dirancang menggunakan bahan bakar bersih, maka *boiler* eksisting tidak memiliki sistem untuk mengontrol asam atau gas beracun, yang dihasilkan dari pembakaran plastik. Adapun untuk *recovery boiler*, sebagian besar energi termal telah disuplai oleh *black liquor* yang merupakan hasil proses.

Jika industri IPK akan menggunakan RDF dalam bauran energi mereka, maka sistem pengendalian polusi udara memerlukan retrofit yang signifikan untuk menangani emisi dari RDF. Sebagai contoh sabilitas pembersihan gas buang di *plant* pemanfaat RDF di Eropa wajib minimal memiliki (1) Kontrol emisi asam, misalnya dengan *scrubber*; (2) DeNO_x, misalnya dengan teknologi SNCR; (3) Penghapusan merkuri dan dioksin, misalnya dengan injeksi karbon aktif; (4) *baghouse*.

Potensi turunnya performa kerja *boiler* juga merupakan potensi permasalahan yang harus diperhatikan.



Gambar 6.9 Jenis RDF berdasarkan tipe *boiler* di IPK

Boiler tipe *chain stoker* di IPK menggunakan bahan bakar batubara yang dilewatkan pada *grate* baja yang bergerak. Dari *bunker* batubara didorong ke ruang bakar menggunakan *screw feeder* hingga jatuh di *chain grate stoker*. Pada saat *grate* bergerak, batubara terbakar dan menjadi abu sebelum jatuh pada ujung *grate*. Dalam pengoperasian *boiler* tipe ini, dibutuhkan pengaturan *grate*, *baffle*, dan *dampers* udara untuk meminimalkan produksi jumlah karbon yang tidak terbakar dalam abu.

Spesifikasi batubara IPK sebagai berikut:

- Nilai *Total Moisture* (% ar): 25,8
- *Ash Content* (% ar): 9,8
- *Volatile Matter* (% adb): 41,9
- *Fixed Carbon* (% adb): 36,4
- *Calorific Value* (kkal/kg, ar): 4780
- Total Sulfur (% adb): 0,86

Ukuran bahan bakar sebesar 6 - 50 mm memungkinkan untuk bahan bakar *boiler* FBC maupun *chain grate*. Kadar mineral abu RDF perlu diperhatikan untuk mengevaluasi bahan bakar terhadap potensi terjadinya proses *slagging* dan *fouling* di dalam *boiler* pada saat proses pembakaran. Seperti diketahui bahwa *slagging* dan *fouling* adalah fenomena menempel dan menumpuknya abu bahan bakar yang melebur pada pipa penghantar panas (*heat exchanger tube*) ataupun dinding *boiler*.

Kedua fenomena ini dapat memberikan dampak besar pada operasional *boiler*, seperti masalah penghantaran panas, penurunan efisiensi *boiler*, dan tersumbatnya pipa. Fenomena menempelnya abu ini terutama dipengaruhi oleh kandungan mineral abu diantaranya Na_2O , K_2O , Fe_2O_3 dan CaO dan suhu fusi abu (*ash fusion temperature*, AFT).

Senyawa Na_2O dan K_2O dalam abu akan membentuk senyawa dengan titik lebur rendah bila berikatan dengan unsur yang lain. Meningkatnya kecenderungan *slagging* juga akan diikuti oleh meningkatnya kecenderungan *fouling*, sesuai dengan kadar alkali dalam abu.

Standar kualitas bahan bakar di IPK baik mempersyaratkan kadar $\text{Na}_2\text{O} < 3\%$, kadar total alkali (Na_2O dan K_2O) $< 3\%$, kadar $\text{CaO} < 20\%$, dan kadar Fe_2O_3 kadarnya harus $< 15\%$

Dengan kondisi ini, diperlukan kajian analisis performa kerja *boiler* di industri IPK. Beberapa kajian sebelumnya menyatakan bahwa untuk menghasilkan kualitas pembakaran yang baik, khususnya sistem pembakaran di *boiler* industri seperti IPK, perbandingan jumlah udara, bahan bakar harus dijaga pada nilai yang optimal dengan menggunakan *air/fuel ratio control* (rasio antara udara/bahan bakar) dan area perpindahan panas pada *boiler* serta konfigurasi pada *tube boiler*.

Untuk sistem pembangkit listrik berbahan baku batubara di industri IPK, spesifikasi RDF dapat menggunakan rujukan SNI Bahan Bakar Jumptan Padat melalui mekanisme *co-firing* bersama batubara sesuai dengan jenis *boiler* yang tersedia

Pabrik IPK modern di beberapa negara telah menggunakan teknologi pembakaran unggun terfluidisasi atau *Fluidized Bed* (FBC) yang sesuai untuk pembakaran RDF.

Di masa depan, IPK yang telah menggunakan teknologi gasifikasi untuk pemulihan energi seperti di Eropa berpotensi dapat menggunakan RDF. Karena gasifikasi adalah teknologi agnostik bahan baku yang dapat mengubah bahan organik atau anorganik seperti RDF yang mudah terbakar menjadi *syngas* yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi.

Persyaratan kualitas RDF berikut mengacu pada penggunaan RDF pabrik gasifikasi di Finlandia:

- NCV RDF : 18–24 MJ/kg, db
- MC : <30%
- Kadar abu : <15% db
- Kadar Cl : <0,6% db
- Hg : <0,1 mg/kg

6.2.4 Spesifikasi RDF untuk Industri Besi Baja

Sebagaimana disebutkan sebelumnya, industri baja merupakan industri yang kurang berpotensi dalam memanfaatkan RDF. Industri ini menggunakan gas sebagai bahan bakar utama dalam tungku. Bahan bakar yang dipakai saat ini pada *boiler* Krakatu Steel (KS) khususnya di unit *Cold Rolling Mill* (CRM) adalah LNG (*Liquefied Natural Gas*) dengan nilai kalori lebih dari 6.000 kkal.

RDF tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembuatan baja karena sifat proses industri ini adalah *autogenous* yang akan mempengaruhi reaksi. Penggunaan RDF sebagai bahan bakar dalam proses lain seperti pembuatan *sinter* (*sinter making*) atau tungku pemanasan ulang (*reheating furnaces*) kurang sesuai karena keduanya menggunakan pasokan energi gas.



Gambar 6.10 Boiler di CRM PT KS

RDF berpotensi menyebabkan hilangnya energi di tungku yang harus dikompensasikan melalui penambahan jumlah penggunaan bahan bakar. Saat dibakar RDF akan mengeluarkan material yang cenderung menghambat 'laju reaksi maju' dari bijih. Ini berpotensi kerugian produksi besi murni dari bijih.

Mode pasokan energi ke tungku sinter dan pemanas ulang adalah gas. RDF padat tidak akan menjadi bahan yang sesuai untuk aplikasi tersebut. Pembakaran RDF akan menyebabkan produksi terak yang lebih tinggi, yang sebagian besar merupakan limbah dan sulit dikelola. Ini juga akan mengurangi produktivitas bijih dalam produksi proses.

Industri baja nasional seperti Krakatau Steel Group menetapkan program pengurangan emisi CO₂ sebesar 33% di tahun 2030 serta mencapai karbon netral tahun 2060 melalui penerapan teknologi berbasis Hidrogen di fasilitas produksi besi dan baja.

Meskipun belum memasukkan RDF dalam program substitusi energi dalam proses produksinya, KS memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) kapasitas 1x150 megawatt (MW) dan *Coal Fired Boiler* 2x80 MW yang berpotensi menggunakan RDF sebagai *co-firing* sebagaimana PLTU PLN.

Tipikal spesifikasi batubara di PLTU KS sebagai berikut:

- Nilai *Total Moisture* (% ar): 25,8
- *Ash Content* (% ar): 4,2
- *Fixed Carbon* (% adb): 36,4
- *Calorific Value* (kkal/kg, ar): 5000
- Total Sulfur (% adb): 0,4

Untuk sistem pembangkit listrik berbahan baku batubara seperti yang dimiliki KS, spesifikasi RDF dapat menggunakan rujukan SNI Bahan Bakar Jumptan Padat melalui mekanisme *co-firing* bersama batubara sesuai dengan jenis *boiler* yang tersedia.

BAB 7 REKOMENDASI PENGEMBANGAN *OFF-TAKER* RDF

7.1 Industri Pemanfaat Prioritas

7.1.1 Industri Semen

Saat ini industri semen merupakan industri pemanfaat RDF utama di Indonesia. Namun, karena keterbatasan pasokan RDF, maka pada tahun 2022 dari total kebutuhan panas batubara, hanya sebesar 1% saja yang dapat digantikan oleh RDF. Pemanfaatan RDF sangat penting jika industri semen ingin mencapai TSR sebesar 19,8% pada tahun 2030, atau meningkat 12% dibandingkan tahun 2022 sebesar 7,8%. Pemanfaatan RDF memberi pabrik semen keuntungan finansial yang signifikan karena hampir 40% biaya operasi pabrik semen merupakan biaya energi.

Tantangan potensial yang dihadapi pabrik semen dalam meningkatkan pemanfaatan RDF adalah keterbatasan infrastruktur/fasilitas penanganan RDF di dalam pabrik yang membutuhkan investasi, karakteristik bahan bakar RDF yang kompleks yang memerlukan penyesuaian kemampuan proses kiln, lingkungan dan regulasi, serta penyediaan tambahan biaya operasional dalam penanganan RDF.

Beberapa hal yang menjadi catatan dalam pemanfaatan RDF di industri semen dirangkum sebagai berikut:

- Belum semua pabrik semen dapat memanfaatkan RDF dikarenakan tidak memiliki fasilitas pemanfaatan seperti penyimpanan, transportasi RDF di dalam pabrik, serta pengumpanan RDF ke sistem pembakaran di sistem kiln;
- Laju substitusi termal (TSR) rata-rata tahun 2022 sebesar 7,8 % dipasok oleh berbagai jenis bahan bakar alternatif, diantaranya limbah industri termasuk limbah B3, limbah biomassa, dan RDF. Untuk memungkinkan pemanfaatan RDF yang lebih tinggi perusahaan perlu melakukan investasi untuk meniadakan *bottlenecking* kiln dan peningkatan infrastruktur/fasilitas;
- RDF memiliki karakteristik pembakaran, sifat fisis, dan kimia yang berbeda dengan batubara serta mengandung senyawa yang tidak diinginkan, seperti sulfur, *chlorine*, logam berat, dan komponen minor lain yang akan mempengaruhi proses klinkerisasi di kiln, sehingga dalam pemanfaatannya diperlukan modifikasi kondisi operasi pabrik agar kualitas produk tetap memenuhi target;
- Pemanfaatan RDF saat ini masih rendah dikarenakan keterbatasan suplai RDF. Secara teknis, industri semen berpotensi memanfaatkan RDF hingga TSR 10%.

Rekomendasi

- Pengembangan standar nasional terkait kualitas dan metode uji RDF perlu segera direalisasikan. Keberadaan standar nasional seperti SNI untuk RDF akan meningkatkan kepercayaan diri regulator, operator, dan pemanfaat RDF;

- Perlu dicatat bahwa RDF akan bersaing dengan bahan bakar alternatif lain, seperti limbah industri lain, termasuk limbah B3 untuk dimanfaatkan di pabrik semen. Oleh karena itu, diperlukan kontrak jangka panjang yang mengikat antara produsen RDF dengan pabrik semen untuk memastikan kontinuitas pemanfaatan RDF;
- Untuk meningkatkan komersialisasi RDF, industri semen dapat memberikan referensi harga RDF berdasarkan nilai kalor RDF yang bersifat dinamis dan terkait dengan biaya batubara;
- Pabrik semen yang terletak dalam jarak 100 km dari fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF didorong untuk mengganti setidaknya 5% dari kebutuhan bahan bakar mereka dengan RDF. Pemerintah Pusat dapat memfasilitasi perjanjian kerja sama antara pemerintah daerah dan industri semen;
- Pengendalian kualitas RDF merupakan hal yang sangat penting sebelum RDF diumpangkan di kiln semen. Pabrik semen perlu menerapkan tahapan yang ketat untuk memastikan kualitas RDF saat diproduksi di fasilitas, saat penerimaan di pabrik semen, dan saat akan diumpangkan ke dalam sistem pembakaran. Pedoman penerimaan dan penolakan RDF perlu disosialisasikan;
- Pemanfaatan RDF yang lebih tinggi memerlukan investasi besar untuk melakukan *debottlenecking* kiln dan peningkatan infrastruktur/fasilitas. Instalasi *bypass* diharapkan dapat meningkatkan fleksibilitas dalam penggunaan RDF yang mengandung klorin tinggi dan meringankan masalah siklus sulfur. Namun, teknologi ini membutuhkan investasi besar. Pemerintah dapat memberikan informasi kemungkinan opsi pembiayaan eksternal untuk membiayai proyek;
- Pemberian insentif merupakan pendorong misalnya industri semen pemanfaat RDF mendapatkan pengurangan pajak karbon sebesar pajak yang dikenakan atas emisi dari RDF;
- Kebijakan Nasional diperlukan sebagai dasar para pihak terutama *off-taker* untuk dapat memanfaatkan RDF. Kebijakan yang dapat diatur oleh pemerintah daerah terkait penganggaran biaya pengelolaan sampah, dan pembuatan MOU dengan pabrik semen. Dalam model bisnis yang akan dikembangkan, pemerintah daerah perlu memperhatikan referensi dalam perhitungan biaya operasi dan pemeliharaan fasilitas RDF, seperti tercantum dalam Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 7 tahun 2021 tentang Tata Cara Perhitungan Tarif Retribusi dalam Penyelenggaraan Penanganan Sampah;
- Pengembangan peluang riset dan inovasi dalam pengolahan sampah menjadi RDF antara lain optimasi proses produksi, *scale up*, optimasi teknologi pengeringan sampah, inovasi peralatan mekanis dengan peningkatan tingkat komponen dalam negeri, serta pemanfaatan teknologi digital untuk mengurangi ketergantungan pada pabrik semen. Pemerintah dapat mempertimbangkan untuk mendukung riset terapan dan mengembangkan teknologi untuk konversi RDF menjadi bahan bakar cair/padat/gas atau opsi inovatif lainnya yang berpotensi untuk direplikasi dalam *pilot plant* untuk mengelaborasi pemanfaatan RDF lebih lanjut.

7.1.2 Industri Pupuk

Industri pupuk berpeluang cukup baik dalam pemanfaatan RDF setelah industri semen, karena beberapa *plant* di industri ini memiliki *boiler* sebagai pembangkit *steam* dan listrik. PT Pupuk Indonesia

saat ini telah mengembangkan alternatif substitusi bahan bakar fosil melalui penggunaan biomassa dalam program dekarbonisasi. RDF berpeluang digunakan dalam proses *co-firing* di *boiler* industri pupuk baik dalam pembangkitan *steam* maupun listrik. Bahan bakar yang digunakan saat ini adalah batubara dengan kalori *Low Rank (LR)* dan *Medium Rank (MR)*.

Khusus *boiler* pembangkit *steam*, potensi turunnya performa kerja *boiler* adalah permasalahan yang harus diperhatikan karena akan memberi dampak terhadap penurunan efisiensi keseluruhan unit yang tidak mampu lagi menghasilkan energi panas sebesar kapasitas terpasang.

Untuk sistem pembangkit listrik berbahan baku batubara di industri pupuk, spesifikasi RDF dapat menggunakan rujukan SNI Bahan Bakar Jumptan Padat melalui mekanisme *co-firing* bersama batubara sesuai dengan jenis *boiler* yang tersedia.

Rekomendasi

- Mengikuti tahapan proses di PLTU PLN dimulai dari kajian teknis dan kelayakan ekonomi, *design review*, survei *feedstock* pemodelan CFD, uji bakar lab dan *performance test*, laporan/evaluasi uji, komersial;
- Pemenuhan sistem pembersihan gas buang di *plant* pemanfaat RDF seperti di Eropa minimal terdiri dari (1) kontrol emisi asam, misalnya dengan *scrubber*; (2) DeNO_x, misalnya dengan teknologi SNCR; (3) Penghapusan merkuri dan dioksin, misalnya dengan injeksi karbon aktif; (4) *baghouse*;
- Melaksanakan kajian teknis meliputi antara lain spesifikasi RDF, kalori, impurities, aspek *safety* analisis risiko, serta kajian kelayakan ekonomi yang meliputi perhitungan keekonomian jika dilakukan substitusi batubara menjadi RDF. Kajian kelayakan ekonomi antara lain mencakup perhitungan biaya transportasi RDF ke lokasi pabrik, biaya investasi gudang untuk penyimpanan RDF, investasi *hopper* dan *conveyor* untuk alat pengumpan ke ruang bakar (*burner*). *Review* aspek keselamatan dan lingkungan terhadap perubahan bahan bakar dari batubara ke RDF juga perlu dilakukan.

7.1.3 Industri Pulp dan Kertas

Industri pulp dan kertas (IPK) berpeluang berikutnya dalam memanfaatkan RDF sebagaimana telah diaplikasikan di beberapa negara seperti Jepang dan Finlandia, namun diperlukan intervensi teknologi dalam implementasinya.

Berdasarkan evaluasi teknologi, terdapat sejumlah kendala dalam penggunaan RDF dalam *boiler* di industri IPK. Bahan bakar berbasis limbah seperti RDF harus memiliki jenis yang serupa dengan sumber bahan bakar desain *boiler* yang saat ini digunakan di industri ini. Perhatian utama adalah rendahnya nilai kalor, tingginya kadar air, dan kontaminan RDF. Hambatan lain untuk penggunaan RDF dalam industri pulp dan kertas adalah saat ini hampir 70% kebutuhan energi panas pabrik IPK dihasilkan sendiri melalui bahan bakar biomassa yaitu *black liquor*.

Boiler IPK tidak dilengkapi teknologi untuk menangani plastik atau senyawa organik terklorinasi. IPK umumnya menggunakan bahan bakar bersih, sehingga tidak ada sistem untuk mengendalikan gas asam atau beracun, yang dihasilkan dari pembakaran plastik.

Meskipun IPK saat ini belum siap menggunakan RDF, namun dapat diidentifikasi beberapa keuntungan bagi IPK untuk mempertimbangkan RDF sebagai bahan bakar alternatif, seperti harga RDF yang lebih murah dibandingkan harga batubara yang akan memberikan keuntungan finansial. Namun, diperlukan investasi awal untuk menyiapkan fasilitas penyimpanan dan pengumpanan RDF, modifikasi *boiler*, serta peningkatan sistem kontrol emisi *boiler*. RDF dapat diperoleh dari impuritis limbah kertas yang tidak dapat digunakan sebagai bahan baku, misalnya yang mengandung plastik.

Instalasi *boiler* baru berbahan bakar RDF seperti PT Tjiwi Kimia merupakan upaya strategis dalam Pemanfaatan RDF di industri ini.

Khusus industri IPK yang memiliki *boiler* untuk pembangkit listrik mandiri berbahan baku batubara, spesifikasi RDF dapat menggunakan rujukan SNI Bahan Bakar Jumptan Padat melalui mekanisme *co-firing* bersama batubara sesuai dengan jenis *boiler* yang tersedia.

Rekomendasi

- Mengikuti tahapan proses proses di PLTU PLN dimulai dari kajian teknis dan kelayakan ekonomi, *design review*, survei *feedstock* pemodelan CFD, uji bakar lab dan *performance test*, laporan/evaluasi uji, komersial;
- Dukungan pembiayaan untuk modifikasi *boiler* serta sistem pengendalian polusi udara akan memerlukan peningkatan kinerja untuk menangani emisi dari RDF. Pemenuhan sistem pembersihan gas buang di *plant* pemanfaat RDF seperti di Eropa minimal terdiri dari (1) Kontrol emisi asam, misalnya dengan *scrubber*; (2) DeNOx, misalnya dengan teknologi SNCR; (3) Penghapusan merkuri dan dioksin, misalnya dengan injeksi karbon aktif; (4) *baghouse*;
- Pabrik pulp dan kertas dapat mempertimbangkan instalasi unit gasifikasi untuk mengkonversi RDF menjadi gas sintetik. Gasifikasi adalah teknologi agnostik bahan baku yang dapat membakar bahan organik dan anorganik seperti RDF untuk menghasilkan *syngas*. Syngas kemudian dapat digunakan sebagai bahan bakar sebagai sumber energi panas maupun dikonversi lebih lanjut menjadi energi listrik. Namun kemungkinan ini perlu dijajaki lebih lanjut dengan melakukan uji skala pilot.

7.1.4 Industri Besi dan Baja

Pada saat ini, industri besi dan baja merupakan industri yang kurang berpotensi terhadap pemanfaatan RDF. RDF tidak dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk pembuatan baja karena sifat proses industri ini adalah *autogenous*. Penggunaan RDF sebagai bahan bakar dalam proses pembuatan sinter (*sinter making*) atau tungku pemanasan ulang (*reheating furnaces*) kurang sesuai karena keduanya menggunakan sumber energi gas alam.

RDF saat dibakar juga akan melepaskan material yang cenderung menghambat 'laju reaksi maju' bijih. Hal ini akan menyebabkan kerugian produksi besi murni dari bijih

Rekomendasi

- Untuk memanfaatkan RDF, industri besi baja dapat mempertimbangkan pembangunan unit gasifikasi untuk mengkonversi RDF menjadi gas sintetik. Gasifikasi RDF pada 900°C menghasilkan 0,67 kg/kg RDF *syngas* dengan 20% vol.H₂, 16.5% vol.%CO, 9% vol.CH₄, dan 14.5% volume CO₂. Gas ini diharapkan dapat menggantikan pasokan energi dari gas alam. Namun, pengembangan ini memerlukan kajian teknis dan ekonomi untuk melihat kelayakannya.

Khusus industri besi baja yang memiliki *boiler* untuk pembangkit listrik mandiri berbahan baku batubara, spesifikasi RDF dapat menggunakan rujukan SNI Bahan Bakar Jumputan Padat melalui mekanisme *co-firing* bersama batubara sesuai dengan jenis *boiler* yang tersedia.

7.2 Rekap Potensi Pemanfaatan Industri

Tabel berikut ini menampilkan rekap potensi pemanfaatan RDF di industri pengolahan

Tabel 7.1 Rekap potensi pemanfaatan RDF di industri pengolahan

No	Jenis Industri	Estimasi Kebutuhan RDF	Penjelasan
1	Industri semen	938.182 ton RDF per tahun atau setara dengan 3.127 ton per hari	TSR 5 % kebutuhan panas kiln, asumsi 300 hari operasi pabrik per tahun untuk pemanfaatan langsung sebagai sumber energi panas.
2	Industri pupuk	78.820 RDF per tahun atau setara dengan 262,73 ton per hari	Substitusi 5% konsumsi batubara Grup Pupuk Indonesia meliputi PT Pupuk Kaltim 34.299 ton per tahun, PT Petrokimia Gresik 12.000 ton per tahun dan PT Pupuk Sriwidjaja 35.522 ton per tahun. RDF dimanfaatkan dalam proses <i>co-firing</i> bersama batubara di <i>boiler</i> untuk menghasilkan energi listrik, asumsi 300 hari operasi pabrik per tahun
3	Industri pulp dan kertas	204.251 ton RDF per tahun atau setara dengan 680,8 ton per hari Grup APRIL diperkirakan berpotensi memanfaatkan RDF sebesar 68.088 ton per tahun atau setara 227 ton per hari	5% kebutuhan panas pengganti biomassa eksternal, asumsi 300 hari operasi pabrik per tahun

No	Jenis Industri	Estimasi Kebutuhan RDF	Penjelasan
	Industri kertas	482.180 ton RDF per tahun atau setara dengan 1.607 ton per hari	5% kebutuhan batubara, RDF dapat dimanfaatkan dalam proses <i>co-firing di boiler</i> menghasilkan <i>steam</i> sebagai penggerak <i>steam</i> turbin generator untuk menghasilkan listrik, serta sebagian <i>steam</i> dialirkan untuk keperluan proses, antara lain untuk kebutuhan <i>paper machine</i>
4	Industri besi dan baja	18.326 ton RDF per tahun atau setara dengan 61,1 ton per hari	Diasumsikan laju substitusi panas sebesar 1% dari kebutuhan energi termal atau sebesar 230.000 GJ disuplai oleh RDF

BAB 8 PENUTUP

Substitusi panas batubara dengan RDF memiliki efek positif terhadap penurunan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di industri, dengan faktor emisi CO₂ RDF yang lebih rendah dibandingkan batubara akibat kandungan biogenik di dalam RDF. Pemanfaatan RDF di industri semen di seluruh Indonesia masih sangat minim karena pasokan RDF sangat terbatas. Lokasi industri semen menjadi keterbatasan pengembangan RDF sebagai bahan bakar alternatif, sehingga eksplorasi industri lain sebagai pemanfaat RDF, terutama industri pengguna *furnace/boiler*, dianggap perlu untuk dilakukan.

Beberapa tantangan dalam pemanfaatan RDF di Indonesia, antara lain: (1) Hambatan teknis seperti kualitas RDF yang rendah karena berasal dari sampah rumah tangga yang tercampur dengan kadar air yang tinggi, serta memiliki kandungan klor dan logam; (2) Hambatan keuangan seperti biaya investasi yang tinggi untuk pembangunan fasilitas pra-pengolahan, pengumpulan, dan transportasi RDF; (3) Dukungan dan regulasi terkait dampak pengolahan sampah rumah tangga menjadi RDF masih perlu terus dikaji.

Standardisasi RDF pada dasarnya adalah pengaturan spesifikasi parameter utama RDF sehingga kualitas produk RDF dapat dibandingkan dan dikendalikan. Manajemen mutu RDF sebagai bagian dari standardisasi RDF akan berperan penting dalam pemasaran RDF dan membangun kepercayaan pihak yang terlibat, yaitu produsen RDF, pengguna akhir, dan pembuat kebijakan/pemerintah setempat. Sertifikasi produk RDF akan membantu produsen RDF memasarkan produk RDF dengan lebih baik dan akan meningkatkan kepercayaan pemanfaat dalam menggunakan RDF.

Industri yang berpotensi memanfaatkan RDF sebagai penghasil panas adalah industri yang menggunakan kiln atau tungku pembakaran seperti industri semen, kapur, kerupuk, genteng, dan tahu. Pemanfaat RDF teridentifikasi lainnya adalah industri pengguna *boiler*. *Boiler* pada industri pengolahan menghasilkan energi yang dapat digunakan untuk mengalirkan panas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. Berbagai sektor industri yang memerlukan energi panas memanfaatkan *boiler*, diantaranya industri pupuk, makanan dan minuman, kelapa sawit, farmasi, karet, kimia dan petrokimia, kertas dan pulp, dan pakan ternak. Namun demikian, perlu menjadi perhatian, bahwa hanya industri yang memiliki kemampuan teknologi terutama peralatan pengendali emisi yang memadai yang bisa dipertimbangkan sebagai pemanfaat RDF.

Industri semen merupakan industri utama pemanfaat RDF, disusul industri pupuk dalam kategori sedang, kemudian Industri Pulp dan Kertas (IPK) dalam kategori rendah dan sedang, dan terakhir adalah industri besi dan baja yang menjadi prioritas terakhir dalam rekomendasi industri pemanfaat RDF.

Pemetaan industri pemanfaat RDF potensial perlu melihat detail identifikasi karakteristik RDF dan instalasi fasilitas tambahan yang diperlukan oleh industri tersebut untuk memperkirakan keberlanjutan implementasi RDF sebagai bahan bakar alternatif.

Tahapan program pemanfaatan RDF di industri dapat mengikuti tahapan *co-firing* di PLTU PLN, yaitu dengan melakukan kajian teknis dan kelayakan, *review desain*, *survey feedstock*, simulasi uji bakar di laboratorium dan *erformance test*, membuat laporan hasil evaluasi uji, dan fase komersialisasi.

Keberhasilan proyek RDF sebagai bahan bakar alternatif tergantung pada kombinasi kriteria, diantaranya peraturan yang ada tentang limbah dan industri, faktor ekonomi, pengetahuan teknis, serta kerja sama yang baik antara berbagai sektor industri dan lembaga publik.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam pemanfaatan RDF di industri sebagai berikut:

1. Sistem Pembakaran di Kiln/*Furnace*

Dua kondisi operasi, yaitu suhu operasi dan waktu retensi sangat penting untuk menghindari pembentukan dioksin dan furan. Contoh suhu operasi di kiln semen yang lebih dari 1.550°C, dan waktu retensi 3 hingga 6 detik di atas 1.200°C, sesuai untuk membakar RDF dengan aman.

Setidaknya terdapat tiga potensi masalah dari *co-firing* RDF dan batubara di *boiler* industri, menurunnya *performance boiler*, timbulnya korosi pada *tube* perpindahan panas, kualitas abu terbang (*fly ash*), dan emisi yang dihasilkan.

2. Alat Pengendali Emisi

Emisi yang dilepaskan dari pembakaran RDF dalam kondisi terkendali dan tidak terkendali akan berbeda. Dalam kasus pembakaran RDF terutama pada suhu rendah (kurang dari 600°C), menyebabkan pembentukan gas dan senyawa yang sangat beracun seperti dioksin/furan. Kajian lingkungan mengenai dampak lingkungan RDF perlu dilakukan. Pemenuhan sistem pembersihan gas buang di *plant* pemanfaat RDF seperti di Eropa minimal terdiri dari (1) Kontrol emisi asam, misalnya dengan *scrubber*; (2) DeNOx, misalnya dengan teknologi SNCR; (3) Penghapusan merkuri dan dioksin, misalnya dengan injeksi karbon aktif; (4) *baghouse*.

3. Kapasitas dan Faktor Keselamatan Sumber Daya Manusia

Industri yang menggunakan RDF harus memiliki kapasitas internal untuk mengukur dan memantau tingkat polutan konvensional seperti, PM, CO, NOx, menggunakan alat peng analisis emisi yang andal dan kontinyu. Staf harus dilatih untuk mengelola RDF yang berasal dari sampah tercampur sehingga memiliki resiko kesehatan. Pengukuran dan pemantauan emisi logam berat, dioksin, dan furan dilakukan sesuai dengan skala waktu yang ditentukan oleh pihak berwenang

Risiko kesehatan dan lingkungan dari abu yang dihasilkan pembangkit listrik atau *steam boiler* berbahan bakar RDF perlu menjadi perhatian, abu pembakaran RDF perlu dikelola lebih lanjut sesuai aturan yang berlaku.

4. Pasar RDF

Untuk mendorong pasar RDF, kenaikan harga energi merupakan pendorong utama. Selain itu, faktor penunjang lainnya adalah dibangunnya fasilitas pengolahan sampah menjadi RDF, kemitraan jangka panjang dengan konsumen pengguna energi panas, serta mitigasi risiko pasokan RDF melalui kontrak jangka menengah.

Perlu dicatat bahwa bahan bakar alternatif lain akan bersaing untuk pangsa pasar ini, misalnya limbah B3 sebagai bahan bakar alternatif di industri semen yang memiliki biaya negatif. Selain itu Pemerintah perlu menegakkan regulasi atau larangan penimbunan sampah, dan penetapan pajak karbon bagi pengguna bahan bakar fosil.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM, Standard Definitions of Terms and Abbreviations Relating to Physical and Chemical Characteristics of Refuse Derived Fuel. In: Waste management, annual book of ASTM Standards, 2006. American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, vol 11.04

CA Velis, Philip J Longhurst, Gillian H Drew, Richard Smith, and Simon JT Pollard. Production and quality assurance of solid recovered fuels using mechanical—biological treatment (MBT) of waste: a comprehensive assessment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 40(12):979–1105, 2010.

Ecofys, 2016, Market Opportunities for use of alternative fuels in cement plants across the EU: Assessment of drivers and barriers for increased fossil fuel substitution in three EU member states: Greece, Poland and Germany.

EN 15359:2011, Solid recovered fuels. Specifications and classes

EPA, Data on Energy Recovery from the Combustion of Municipal Solid Waste (MSW) (<https://www.epa.gov>), 2019

European Committee for Standardisation. Solid recovered fuels (PD CEN/TR 14745:2003). Ministry of Urban Development, 2003.

European Recovered Fuel Organization (ERFO): The role of SRF in a Circular Economy. <https://www.erfo.info> (2017). Accessed 3 April 2018

Gendebien, A., A. Leavens, et al., 2003. Refuse Derived Fuel, Current Practice and Perspectives. European Commission Directorate - General Environment

Guidelines on Usage of Refuse Derived Fuel in Various Industries, Central Public Health and Environmental Engineering Organisation (CPHEEO) Ministry of Housing and Urban Affairs www.swachhbharaturban.gov.in September 2018

IFC, 2017, increasing the use of alternative fuels at cement plants: international best practices, report. 9 Ibid.

ISO 21640:2021, Solid recovered fuels — Specifications and classes

Japan RPF Industry Association, 2016. RPF demand trends and production results. September 2016. Available in the web site of Japan RPF Industry Association (<http://www.jrpf.gr.jp/en/rpf-6>).

JIS Z 7311:2011. Refuse derived paper and plastics densified fuel RPF

Market potential of high efficiency CHP and waste based ethanol in European pulp and paper industry, VTT TIEDOTTEITA – RESEARCH NOTES 2500, Esa Sipilä, Jürgen Vehlow, Pasi Vainikka, Carl Wilén & Kai Sipilä, Bioenergy NoE 2009

Market Analysis & Literature Review on Refuse Derived Fuel (RDF) from Residual Waste Prepared by: Harshit Srivastava, UBC Sustainability Scholar, 2021 Prepared for: Farbod Diba, Project Engineer, Solid Waste Strategic Services, City of Vancouver August 2020

Nasrullah M., Vianikka P., Hannula J., Hurme M., Kari J., Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 3: Solid recovered fuel produced from municipal solid waste. *Waste Management & Research*, 2015, 33(2), pp. 146–156

National policy, strategy, and programs of solid waste in Indonesia (2017).. Direktorat Pengelolaan Sampah, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Outlook Energi 2020, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

PMR-UNDP Indonesia. 2018. Development of Profile of GHG in Industrial Sector. Laporan Penelitian. PMR-UNPD Indonesia. Jakarta

PP No.97 Tahun 2017 tentang Jakstranas Pengelolaan Sampah Rumah Tangga &

Pusdatin, Kemenperin. 2019. Kebutuhan Energi Pada Industri Pulp dan Kertas Indonesia, Analisis Sumber Daya Industri

RAL RAL-GZ 724, 2012 Quality assurance for Solid Recovered Fuels. Edition January 2012 (German Standard).

Skenario Pengendalian Emisi GRK dari Sektor Sampah dan NEK, Direktorat Jenderal Pengelolaan Sampah, Limbah dan B3, 2021

Themellis J N and Ullo A P, (2007). Methane generation in landfills, *Renewable energy*, 32, 7, 1243-1257.

UNI TR 11581:2015. Secondary sold fuels. Guideline for the application of the standards UNI EN 15539 and UNI EN 15538.

UNI TS 11553:2014. Secondary sold fuels– Specification of CSS obtained through the mechanical treatment of not-hazardous wastes.

UNI TS 11597:2015. Characterization of waste and SRF regarding biomass and energy content.

UNI 9903-01:2004 Non mineral refuse derived fuels - Specifications and classification

USE OF SRF AND RDF IN EUROPE LITERATURE REVIEW AND ADMINISTRATIVE SITUATIONS ENCOUNTERED IN THE FIELD CSR : Combustibles Solides de récupération RDF : Refuse-Derived Fuels - SRF : Solid Recovered Fuel mai 2018

Usón, A.A.; Lopez-Sabirón, A.M.; Ferreira, G.; Sastresa, E.L. Uses of alternative fuels and raw materials in the cement industry as sustainable waste management options. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013, 23, 242–260. [CrossRef]

WBCSD, 2014, The Cement Industry – Creating solutions for sage resource-efficient waste management, report. 8 IFC, 2017, increasing the use of alternative fuels at cement plants: international best practices, report. 9 Ibid. 10 Ecofys, 2016, Market Opportunities for use of alternative fuels in cement plants across the EU: Assessment of drivers and barriers for increased fossil fuel substitution in three EU member states: Greece, Poland and Germany. 11 Ibid. 12 IFC, 2017, increasing the use of alternative fuels at cement plants: international best practices, report. 13 Ecofys, 2016, Market Opportunities for use of alternative fuels in cement plants across the EU: Assessment of drivers and

barriers for increased fossil fuel substitution in three EU member states: Greece, Poland and Germany.
14 http://avaw.unileoben.ac.at/media/Modul_11_EBS.pdf

Zotto, D., A. Tallini, et al., 2015. Energy enhancement of solid recovered fuel within systems of conventional thermal power generation. *Energy Procedia* 81. 319-338. Roma.

