

Potensi dan Tantangan Pemanfaatan *Refuse Derived Fuel* dalam *Co-Firing* PLTU di Indonesia: A Review

Jaka Kuncara^{1*}, Siti Jamilatun¹, Annisa Vada Febriani¹, M. Idris¹, Martomo Setyawan¹

¹Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Ahmad Dahlan, Jl. Ringroad Selatan, Kragilan, Tamanan, Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55191

*Corresponding Author: 2307054008@webmail.uad.ac.id

ABSTRAK

Indonesia menghadapi tantangan dalam pengelolaan sampah dan pemenuhan kebutuhan energi yang terus meningkat. Pada tahun 2023, negara ini menghasilkan 38.340.757,37 ton sampah, sementara ketergantungan pada bahan bakar fosil masih tinggi. *Refuse Derived Fuel* (RDF) muncul sebagai solusi potensial untuk mengatasi kedua masalah ini secara bersamaan. RDF, yang diproduksi dari pengolahan sampah padat, menawarkan cara inovatif untuk mengurangi volume sampah sekaligus menyediakan sumber energi alternatif. Studi ini bertujuan untuk menganalisis potensi dan implementasi teknologi RDF dalam program *co-firing* di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) di Indonesia. Proses produksi RDF melibatkan serangkaian tahapan, mulai dari pengumpulan sampah hingga pemadatan menjadi bentuk yang siap digunakan sebagai bahan bakar. Implementasi *co-firing* RDF di PLTU PLN telah menunjukkan hasil positif, dengan beberapa pembangkit telah beroperasi secara komersial menggunakan campuran RDF dan batubara. Namun, pengembangan RDF di Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan, termasuk kualitas bahan baku, kebutuhan modifikasi infrastruktur, biaya investasi tinggi, serta aspek regulasi dan penerimaan masyarakat. Kesimpulannya, meskipun RDF menawarkan solusi potensial untuk masalah sampah dan energi di Indonesia, diperlukan pendekatan terpadu yang melibatkan dukungan kebijakan, investasi teknologi, pengembangan kapasitas, dan kolaborasi antar pemangku kepentingan untuk mengoptimalkan pemanfaatannya.

Kata kunci: *Co-firing*; Indonesia; Sampah; *Refused Derived Fuel* (RDF); Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

ABSTRACT

Indonesia faces challenges in waste management and meeting its increasing energy needs. In 2023, the country produced 38,340,757.37 tons of waste, while dependence on fossil fuels is still high. *Refuse Derived Fuel* (RDF) has emerged as a potential solution to address both of these issues simultaneously. RDF, produced from solid waste processing, offers an innovative way to reduce waste volume while providing an alternative energy source. This study aims to analyze the potential and implementation of RDF technology in the *co-firing* program at Steam Power Plants (PLTU) in Indonesia. The RDF production process involves a series of stages, from waste collection to compaction into a form that is ready to be used as fuel. The implementation of RDF *co-firing* at PLN PLTU has shown positive results, with several plants already operating commercially using a mixture of RDF and coal. However, the development of RDF in Indonesia still faces significant challenges, including the quality of raw materials, the need for infrastructure modification, high investment costs, as well as regulatory aspects and public acceptance. In conclusion, although RDF offers a potential solution to Indonesia's waste and energy problems, an integrated approach involving policy support, technology investment, capacity development, and collaboration between stakeholders is needed to optimize its utilization.

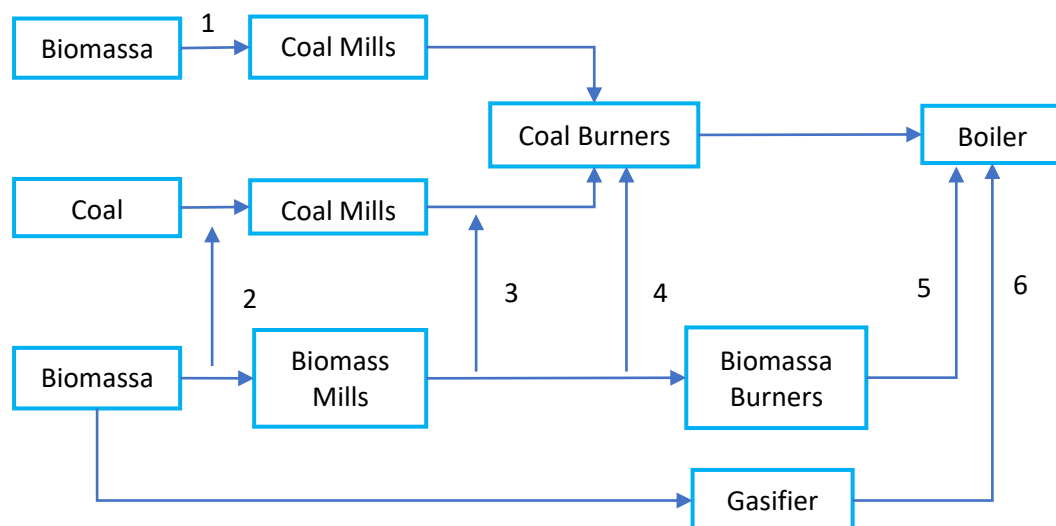
Keywords: *Co-firing*; Indonesia; Waste; *Refused Derived Fuel* (RDF); Steam Power Plant (PLTU).

1. PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara berkembang dengan populasi yang besar dan pertumbuhan ekonomi yang pesat, menghadapi dua tantangan besar yang saling terkait: pengelolaan sampah yang efektif dan kebutuhan energi yang terus meningkat (Anggagana et al., 2023; Febriani et al., 2024; Idris et al., 2024; Mulhidin et al., 2022). Pada tahun 2023, Indonesia menghasilkan 38.340.757,37 ton sampah, dengan sebagian besar berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) yang sudah kelebihan kapasitas atau bahkan mencemari lingkungan (SIPSN, 2023c). Di sisi lain, permintaan energi nasional terus meningkat, sementara ketergantungan pada bahan bakar fosil masih tinggi, yang berkontribusi pada emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim (Idris et al., 2024).

Untuk mengatasi kedua masalah tersebut secara bersamaan, maka pengembangan *Refuse Derived Fuel* (RDF) muncul sebagai solusi potensial (Jamilatun et al., 2023). RDF diproduksi dari pengolahan sampah padat, menawarkan cara inovatif untuk mengurangi volume sampah yang masuk ke TPA sekaligus menyediakan sumber energi alternatif (Qonitan et al., 2021; Sihombing & Darmawan, 2020). Konsep ini sejalan dengan prinsip ekonomi sirkular dan pembangunan berkelanjutan, di mana sampah tidak lagi dianggap sebagai limbah tetapi sebagai sumber daya yang berharga (Yuliani et al., 2022).

Dalam pemanfaatan RDF sebagai sumber energi dapat dilakukan dengan teknologi *co-firing* (Soleh et al., 2019). Teknologi *co-firing* melibatkan pembakaran bersama biomassa atau RDF dengan bahan bakar fosil seperti batubara, menawarkan cara yang lebih mudah dan ekonomis untuk mengintegrasikan bahan bakar terbarukan ke dalam infrastruktur pembangkit listrik yang ada seperti terlihat pada gambar 1. *Co-firing* dapat dilakukan melalui berbagai metode, termasuk pencampuran langsung, *co-milling*, atau pembakaran terpisah, tergantung pada karakteristik bahan bakar dan konfigurasi pembangkit listrik (Mulhidin et al., 2022).



Gambar 1. Skema teknologi *co-firing* RDF/biomassa dan batubara.

Sumber: (Sidiq, 2022)

Co-firing RDF dan batubara berpeluang untuk menurunkan polutan NO_x , SO_x dan emisi CO_2 dari pemakaian bahan bakar fosil. RDF tidak mengakibatkan CO_2 terakumulasi di atmosfer serta memiliki sulfur lebih sedikit bila dibandingkan dengan batubara (Nyoman et al., 2010).

Pemerintah Indonesia, melalui berbagai kebijakan dan inisiatif, telah mulai mendorong pengembangan dan implementasi RDF sebagai bagian dari strategi pengelolaan sampah dan diversifikasi energi nasional. Salah satu langkah signifikan adalah program *co-firing* yang diimplementasikan oleh PLN, di mana RDF digunakan sebagai bahan bakar campuran dengan batubara di pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) (ESDM, 2024). Inisiatif ini tidak hanya bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada batubara, tetapi juga untuk menurunkan emisi karbon dari sektor pembangkit listrik (Ariyani et al., 2023). Implementasi teknologi *co-firing* di Indonesia memerlukan penyesuaian dan optimasi pada pembangkit listrik yang ada. Ini meliputi modifikasi sistem pengumpanan bahan bakar, penyesuaian parameter pembakaran, dan pengelolaan emisi yang lebih ketat (Febriani et al., 2024). Selain itu, pengembangan teknologi pembakaran yang lebih efisien dan bersih, seperti pembakaran fluidized bed atau gasifikasi, juga sedang dieksplorasi untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan RDF (Sihombing & Darmawan, 2020).

Oleh karena itu, *review paper* ini bertujuan untuk menganalisis secara komprehensif potensi dan implementasi teknologi RDF dalam program *co-firing* di PLTU di Indonesia, dengan fokus pada kajian karakteristik dan kualitas RDF dari pengolahan sampah perkotaan, serta identifikasi tantangan implementasi pengembangan dan pemanfaatan RDF dalam mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan dan diversifikasi energi nasional.

2. **REFUSE DERIVED FUEL (RDF)**

Refuse Derived Fuel (RDF) merupakan bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari pengolahan sampah padat, khususnya sampah perkotaan atau industri (Jamilatun et al., 2023). RDF diproduksi melalui serangkaian proses yang meliputi pemilahan, pengolahan, dan pemadatan sampah padat menjadi bentuk yang lebih mudah digunakan sebagai bahan bakar (Soleh et al., 2019). Proses ini melibatkan pemisahan material yang dapat didaur ulang, penghancuran, pengeringan, dan pemadatan sampah untuk menghasilkan bahan bakar dengan nilai kalor yang optimal (Qonitan et al., 2021).

Penggunaan RDF memberikan berbagai manfaat penting bagi lingkungan dan masyarakat. Pertama, RDF membantu mengurangi volume sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA), sehingga berkontribusi pada pengelolaan sampah yang lebih efisien. Kedua, sebagai sumber energi alternatif, RDF dapat menggantikan atau melengkapi penggunaan bahan bakar fosil konvensional, yang pada gilirannya membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Ketiga, pemanfaatan sampah sebagai bahan baku RDF mendukung konservasi sumber daya alam dan menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan (Ariyani et al., 2023).

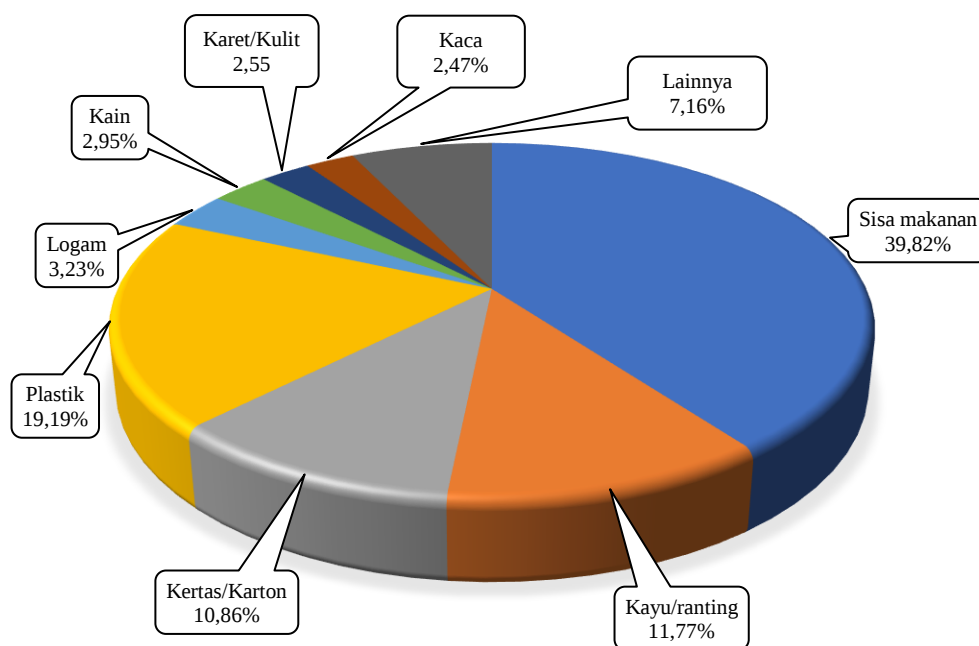
Selain manfaat lingkungan, RDF juga memberikan keuntungan ekonomi. Produksi RDF dapat menciptakan lapangan kerja baru dan memberikan nilai tambah pada sampah yang sebelumnya dianggap tidak bernilai. Hal ini mendorong pengembangan ekonomi *circular* yang lebih berkelanjutan (Widowati, 2023). RDF juga menawarkan solusi praktis bagi industri yang membutuhkan alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan potensial lebih ekonomis dibandingkan bahan bakar konvensional. Dengan demikian, RDF tidak hanya berkontribusi pada pelestarian lingkungan tetapi juga pada pembangunan ekonomi berkelanjutan (Jamilatun et al., 2023; Sihombing & Darmawan, 2020).

2.1. **Bahan Baku RDF**

RDF dapat diproduksi dari berbagai jenis sampah padat yang berasal dari berbagai sumber (Mulhidin et al., 2022; Soleh et al., 2019). Bahan baku utama untuk pembuatan RDF meliputi sampah rumah tangga yang terdiri dari sampah organik dan anorganik, serta sampah komersial yang berasal

dari toko, restoran, dan berbagai kegiatan bisnis (Sihombing & Darmawan, 2020). Selain itu, sampah industri yang tidak berbahaya dan sampah konstruksi seperti sisa material bangunan dan puing-puing juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku RDF (Jamilatun et al., 2023).

Bahan baku RDF juga mencakup berbagai jenis sampah spesifik seperti sampah plastik yang tidak dapat didaur ulang, sampah kertas dan kardus, serta limbah tekstil berupa sisa kain dan produk tekstil lainnya. sampah kayu dari industri pengolahan kayu atau konstruksi, serta sampah pertanian berupa sisa tanaman dan produk pertanian lainnya juga dapat digunakan dalam pembuatan RDF (Nanda et al., 2023). Bahkan, lumpur yang dihasilkan dari pengolahan air sampah dapat dimanfaatkan sebagai salah satu komponen dalam produksi RDF (Idris et al., 2024). Komposisi sampah di Indonesia yang berpotensi untuk digunakan sebagai bahan baku RDF ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Komposisi sampah di Indonesia.
Sumber: (SIPSN, 2023a).

Dalam proses produksi RDF, bahan-bahan baku ini melalui tahap pemilahan untuk memisahkan material yang dapat didaur ulang dan yang tidak diinginkan (Ariyani et al., 2023). Selanjutnya, bahan-bahan yang telah dipilah akan diolah dan dicampur sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan untuk menghasilkan bahan bakar dengan nilai kalor yang tinggi dan karakteristik pembakaran yang optimal (Soleh et al., 2019). Penting untuk dicatat bahwa komposisi RDF dapat bervariasi tergantung pada ketersediaan bahan baku dan kebutuhan spesifik pengguna akhir, sehingga kualitas dan karakteristik RDF perlu dipantau secara konsisten untuk memastikan kinerja yang optimal saat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Jamilatun et al., 2023). Hasil uji *proximate* dan *ultimate* yang pernah dilakukan ditampilkan di tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Asil uji *proximate* sampah lama (Sihombing & Darmawan, 2021).

Parameter	Unit	Piyungan	Cipeucang	Sumompo	Batulayang	Jatibarang
Total Moisture	% ar	41.08.00	57,7	53,4	56,6	53,17
<i>Proximate Analysis :</i>						
- Moisture Analyst	% db	4,5	6,9	3,2	4,9	2,6
- Ash Content	% db	40,6	58,3	49,7	38,1	45,92
- Volatile Matter	% db	45,8	32,2	43	47,1	39,25
- Fixed Carbon	% db	9,1	2,6	4,1	9,9	12,22
Total Sulfur	% db	0,09	0,47	0,17	0,35	0,25
Gross Calorific Value	kkal/kg db	2239	2451	2109	3783	1967,67
Chlorine	%	0,68	0,17	0,33	0,07	0,2
Gross Calorific Value	kkal/kg ar	1364,5	1113,61	1015,28	1726,42	922,19
Net Caloric Value	kkal/kg ad	1865,27	2068,82	1704,66	3289,13	1607,88
Net Caloric Value	kkal/kg ar	990,8	731,45	610,97	1232,58	562,43

Tabel 2. Analisis *proximate* dan *ultimate* bahan aku (Sampah) (Christanti et al., 2022).

Parameter	Unit	Hasil	Metode Standar
<i>Analysis Proximate</i>			
Moisture	%	41,5	ASTM 3302-02A
Ash, db	%	59,65	ASTM D3175-02
Volatile matter, db	%	29,48	ASTM D3174-02
Calory, db	kcal/kg	3.805,03	ASTM 5865-02
<i>Analysis Ultimate</i>			
Carbon, db	%	39,86	ASTM D5373-2002
Hydrogen,db	%	4,58	ASTM D5373-2002
Nitrogen, db	%	5,42	ASTM D5373-2002
Oxygen, db	%	20,58	ASTM 3176
Sulfur, db	%	0,14	ASTM D4239-02A
Fosfor, db	%	0,08	SNI 02-3776-2005

2.2. Proses Pembuatan RDF

Proses pembuatan RDF melibatkan serangkaian tahapan yang dirancang untuk mengubah sampah padat menjadi bahan bakar berkualitas tinggi seperti yang terlihat pada gambar 3. Tahap pertama dimulai dengan pengumpulan sampah dari berbagai sumber, seperti rumah tangga, industri, dan fasilitas komersial (Ariyani et al., 2023; Pujotomo, 2016). Setelah itu, limbah yang terkumpul melalui proses pemilahan awal untuk memisahkan material yang dapat didaur ulang, bahan berbahaya, dan komponen yang tidak sesuai untuk produksi RDF (Qonitan et al., 2021).

Langkah selanjutnya adalah pengurangan ukuran, di mana sampah yang telah dipilah dihancurkan atau dicacah menjadi ukuran yang lebih kecil dan seragam. Proses ini penting untuk meningkatkan

efisiensi pengolahan selanjutnya dan mengoptimalkan karakteristik pembakaran RDF (Ariyani et al., 2023). Setelah pengurangan ukuran, material kemudian melalui tahap pengeringan untuk mengurangi kadar air, yang sangat penting untuk meningkatkan nilai kalor bahan bakar. Tahap berikutnya melibatkan pemisahan lebih lanjut menggunakan berbagai metode seperti pemisahan magnetik untuk menghilangkan logam, pemisahan udara untuk memisahkan material ringan dan berat, serta pemisahan optik untuk memilah material berdasarkan warna atau komposisi (Mulhidin et al., 2022). Setelah pemisahan, material yang tersisa dicampur dalam proporsi yang tepat untuk mencapai spesifikasi RDF yang diinginkan, seperti nilai kalor, kadar abu, dan kandungan klorin (Christanti et al., 2022)(Matsakas et al., 2017). Standar RDF di Indonesia masih mengikuti SNI 8966 2021 ‘Standar parameter bahan bakar jumputan padat’ yang dapat dilihat pada tabel 3 (Widowati, 2023).

ALUR PENGOLAHAN SAMPAH MENADI RDF



Gambar 3. Proses pengolahan sampah menjadi RDF

Sumber: (Ariyani et al., 2023)

Tabel 3. Standar parameter bahan bakar jumputan padat (SNI 8966 2021) (Sihombing & Darmawan, 2021)(Wulandari et al., 2024).

No	Parameter	Satuan	Kelas		
			1	2	3
1	Kadar Material Organik	% min	≥ 95	$87,5 \leq x < 95$	$80 \leq x < 87,5$
2	Kadar Air (ar)	% berat	< 15	< 20	< 25
3	Kadar Abu (ar)	% berat	< 15	< 20	< 25
4	Kadar Volatile Matter (ar)	% berat maks	65	70	75
5	Kadar Fix Carbon (ar)	% berat	> 15	> 10	> 5
6	Nilai Kalor Netto (ar)	MJ/kg	≥ 20	≥ 15	≥ 10
7	Kadar Sulfur Total (ar)	% berat	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
8	Kadar Klorin (ar)	% berat	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	≤ 1

Tahap akhir dalam produksi RDF adalah pemadatan atau pembentukan. Dalam tahap ini, material yang telah diolah dipadatkan menjadi bentuk yang lebih mudah ditangani dan diangkut, seperti fluff, pelet atau briket seperti yang disajikan pada gambar 4 (Sidiq, 2022). Proses pemadatan ini juga membantu meningkatkan densitas energi RDF. Setelah pemadatan, RDF yang dihasilkan kemudian disimpan atau langsung didistribusikan ke pengguna akhir (Yuniar & Santosa, 2022). Seluruh proses produksi RDF ini diawasi ketat untuk memastikan kualitas dan konsistensi produk akhir, serta kepatuhan terhadap standar lingkungan dan keselamatan yang berlaku (Primadanty, 2024). Tabel 4 menyajikan produksi RDF yang ada di Indonesia.



Gambar 4. Jenis-jenis RDF: (a) Fluff; (b) Pellet; (c) Briket.

Sumber: (Widowati, 2023)

Tabel 4. Produksi RDF di Indonesia pada tahun 2023 (SIPSN, 2023b).

Provinsi	Kabupaten/Kota	Nama Fasilitas	Sampah masuk (ton/thn)	Sampah terkelola (ton/thn)
DKI Jakarta	Kota Adm. Jakarta Pusat	RDF TPS 3R ketapang	1.584,1	1.584,1
Jawa Tengah	Kab. Cilacap	TPST RDF cilacap	29.097,8	29.097,8
Jawa Timur	Kab. Gresik	RDF di TPA Ngipik	4.577,1	4.164,65
Jawa Timur	Kab. Gresik	RDF Belahanrejo	4.577,1	1.310,35
Jawa Timur	Kab. Bangkalan	Rumah Daur Ulang LH	2.007,5	1.788,5
Banten	Kab. Pandeglang	Bank Sampah Pandeglang Lestari	160,6	160,6
Banten	Kota Cilegon	BBJP TPSA Bagendung	4.745	4.745
Bali	Kab. Klungkung	TOSS Center	73	73
Kalimantan Barat	Kota Singkawang	BBJP	51,1	51,1
Kalimantan Selatan	Kab. Kotabaru	TPS3R Rejo Lestari	1.277,5	36,5
Kalimantan Selatan	Kab. Tabalong	TOSS TPS 3R Tanjung Selatan Bersinar	73	73
Kalimantan Selatan	Kab. Tanah Bumbu	TPA Sungai Dua	0,48	0,17

Berdasarkan tabel 2, produksi RDF di Indonesia pada tahun 2023, terdapat variasi yang signifikan dalam kapasitas pengelolaan sampah di berbagai fasilitas RDF. Kapasitas pengelolaan terbesar ditunjukkan oleh TPST RDF Cilacap di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, dengan kemampuan mengelola sampah sebesar 29.097,8 ton per tahun, dimana jumlah ini sama dengan sampah yang masuk ke fasilitas tersebut. Hal ini menunjukkan efisiensi pengelolaan yang optimal karena seluruh sampah

yang masuk dapat diolah menjadi RDF (Shovon et al., 2024). Sementara itu, kapasitas pengelolaan terkecil tercatat di TPA Sungai Dua, Kabupaten Tanah Bumbu, Kalimantan Selatan, yang hanya mampu mengelola 0,17 ton sampah per tahun dari total 0,48 ton sampah yang masuk. Perbedaan yang sangat besar antara kapasitas pengelolaan terbesar dan terkecil ini menggambarkan kesenjangan yang signifikan dalam skala operasi dan kemampuan pengelolaan sampah untuk produksi RDF di berbagai daerah di Indonesia (Scarlat et al., 2015). Hal ini juga menunjukkan adanya potensi pengembangan dan peningkatan kapasitas di fasilitas-fasilitas yang masih beroperasi dalam skala kecil (Aufi et al., 2023).

3. IMPLEMENTASI RDF DALAM PROGRAM *CO-FIRING* DI PLTU PLN

Implementasi RDF dalam program *co-firing* di PLTU PLN merupakan inisiatif strategis yang bertujuan untuk mengurangi penggunaan batubara sekaligus mengatasi permasalahan sampah di Indonesia (Aufi et al., 2023). Program ini dimulai dengan *pilot project* pada tahun 2020 di beberapa PLTU, dimana RDF digunakan sebagai bahan bakar campuran dengan batubara dalam proses pembakaran untuk menghasilkan listrik (Sidiq, 2022). Dalam implementasinya, RDF dicampur dengan batubara dalam proporsi tertentu, umumnya dimulai dari 5% dan secara bertahap ditingkatkan sesuai dengan kemampuan dan karakteristik masing-masing PLTU (Mulhidin et al., 2022; Soleh et al., 2019). Karakteristik dari batubara, RDF dan campuran keduanya disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Karakteristik dari batubara, RDF dan campuran keduanya (Mulhidin et al., 2022).

Parameter	Sampel			Metode Standar
	Batubara	RDF	Batubara 95% + RDF 5%	
Analysis Proximate				
Moisture (% adb)	17,13	7,1	14,44	ASTM 3173
Ash (% adb)	5,1	32,98	7,7	ASTM 3174
Volatile matter (% adb)	40,64	31,22	41,4	ASTM 3175
Fixed carbon (% adb)	37,13	28,61	36,46	ASTM 3172
Analysis Ultimate				
Carbon (% adb)	54,34	41,29	54,03	ASTM 4239
Hydrogen (% adb)	5,49	4,12	5,34	ASTM 5373
Nitrogen (% adb)	0,89	0,41	0,93	ASTM 5373
Oxygen (% adb)	34,02	17,21	31,82	ASTM 3176
Sulfur (% adb)	0,16	3,99	0,18	ASTM 5374

Proses *co-firing* ini memerlukan beberapa penyesuaian teknis pada fasilitas PLTU, termasuk modifikasi sistem feeding, penyesuaian parameter pembakaran, dan pengaturan sistem kontrol emisi (Cahyo et al., 2024). PLN telah melakukan berbagai studi dan uji coba untuk memastikan bahwa penggunaan RDF tidak mengganggu performa pembangkit dan tetap memenuhi standar emisi yang ditetapkan. Program ini juga melibatkan kerjasama dengan pemerintah daerah dan pengelola sampah untuk menjamin pasokan RDF yang berkelanjutan dan berkualitas (Elsha & Budiarto, 2023; Erlangga et al., 2023). Implementasi *co-firing* RDF di PLTU PLN memberikan berbagai manfaat, antara lain pengurangan emisi karbon, penghematan penggunaan batubara, dan kontribusi terhadap pengelolaan sampah perkotaan. Program ini juga sejalan dengan komitmen Indonesia dalam pengurangan emisi gas rumah kaca dan pengembangan energi terbarukan (ESDM, 2024; Saputro et al., 2021). Ke depannya, PLN berencana untuk memperluas program *co-firing* ke lebih banyak PLTU dan meningkatkan proporsi

penggunaan RDF, seiring dengan peningkatan kapasitas produksi RDF di berbagai daerah di Indonesia (Maulidayanti et al., 2024).

Pada tahun 2020-2021 pembangkit PLTU melakukan uji coba *co-firing* batubara dan RDF, pada tiga pembangkit PLTU yang diuji dengan RDF dari MSW, yaitu PLTU Jeranjang NTB (2×25MW), PLTU 3x315 MW Longtar, Banten dan PLTU 2x7 MW Ropa-Ende NTT. Sementara PLTU yang lain memanfaatkan limbah biomasa untuk percobaan pembakaran bersama. Uji PLTU Lontar memakai RDF dari pabrik TPST Cilacap dan limbah dari Saguling, sedangkan PLTU Jeranjang menggunakan limbah kebun dan sisa pohon yang ditebang (Widowati, 2023). Penyajian lain menyampaikan PLTU yang telah menggunakan teknologi RDF antara lain: PLTU Tarahan, PT. Pembangkitan Jawa-Bali (PJB), PLTU Suralaya, PLTU Saguling dan Cilacap (Ariyani et al., 2023; Erlangga et al., 2023; Maulidayanti et al., 2024). Saat ini, pembangkit listrik milik PLN yang telah beroperasi secara komersial dengan bahan bakar *co-firing* RDF pada 3 lokasi PLTU yaitu PLTU Jeranjang 150 MW, PLTU Barru 100 MW dan PLTU Anggrek 56 MW (ESDM, 2024).

4. TANTANGAN PENGGUNAAN RDF SEBAGAI SUMBER ENERGI DI INDONESIA

Penggunaan RDF untuk produksi energi di Indonesia, termasuk dalam aplikasi *co-firing*, menghadapi beberapa tantangan signifikan yang perlu diatasi untuk pengembangan yang lebih optimal. Tantangan utama berkaitan dengan kualitas dan konsistensi bahan baku RDF, dimana komposisi sampah yang bervariasi dan tingginya kadar air dalam sampah organik mempengaruhi nilai kalor dan efisiensi pembakaran (Abisono, 2024; Ariyani et al., 2023). Selain itu, sistem pengumpulan dan pemilahan sampah yang belum optimal di berbagai daerah menyebabkan kesulitan dalam mendapatkan bahan baku yang sesuai dengan standar yang dibutuhkan untuk produksi RDF (Triani et al., 2024).

Dalam konteks *co-firing*, yaitu pembakaran bersama RDF dengan bahan bakar konvensional seperti batubara di pembangkit listrik, terdapat tantangan teknis tambahan. Hal ini meliputi perlunya modifikasi sistem *feeding* dan pembakaran di pembangkit listrik *existing* untuk mengakomodasi karakteristik RDF yang berbeda dari batubara (Majhi et al., 2021; Romianingsih, 2023). Selain itu, optimalisasi rasio campuran RDF dan batubara untuk mencapai efisiensi pembakaran yang optimal sambil memenuhi standar emisi menjadi tantangan tersendiri (Lisbona et al., 2023).

Dari segi teknologi dan infrastruktur, Indonesia masih menghadapi kendala dalam hal ketersediaan teknologi pengolahan yang efisien dan fasilitas produksi yang memadai (Rahmanta et al., 2024). Biaya investasi yang tinggi untuk pembangunan fasilitas pengolahan RDF dan modifikasi pembangkit listrik *existing* untuk mengakomodasi penggunaan RDF dalam *co-firing* juga menjadi tantangan tersendiri (Cahyo et al., 2024). Masalah teknis lainnya meliputi perlunya standarisasi kualitas RDF dan pengembangan sistem kontrol emisi yang efektif untuk memenuhi standar lingkungan, terutama ketika digunakan dalam proses *co-firing* (Primadanty, 2024).

Aspek ekonomi juga menjadi tantangan penting, dimana biaya produksi RDF yang relatif tinggi dibandingkan dengan bahan bakar konvensional seperti batubara dapat mempengaruhi kelayakan finansial proyek (Maulidayanti et al., 2024). Dalam konteks *co-firing*, perlu dilakukan analisis ekonomi yang cermat untuk memastikan bahwa penggunaan RDF tidak menimbulkan beban biaya yang signifikan bagi operasional pembangkit listrik (Christanti et al., 2022). Keterbatasan insentif ekonomi dan mekanisme pendanaan yang mendukung pengembangan RDF dan implementasi *co-firing* juga menjadi hambatan bagi investor (Abisono, 2024).

Tantangan lainnya mencakup aspek regulasi dan kelembagaan, dimana diperlukan kerangka kebijakan yang lebih komprehensif dan koordinasi yang lebih baik antar pemangku kepentingan, terutama antara pengelola sampah, produsen RDF, dan operator pembangkit listrik (ESDM, 2024).

Kurangnya kesadaran dan penerimaan masyarakat terhadap teknologi RDF dan *co-firing*, serta keterbatasan sumber daya manusia yang memiliki keahlian dalam pengelolaan dan pengoperasian fasilitas RDF dan sistem *co-firing* juga menjadi kendala yang perlu diatasi (Putra et al., 2022; Wang et al., 2021). Untuk mengatasi tantangan-tantangan ini, diperlukan pendekatan terpadu yang melibatkan dukungan kebijakan, investasi teknologi, pengembangan kapasitas, dan edukasi masyarakat, serta kolaborasi yang erat antara berbagai pihak terkait dalam rantai nilai RDF dan sektor energi (Febriani et al., 2024; Muslim et al., 2022; Widowati, 2023).

5. KESIMPULAN

RDF merupakan solusi potensial untuk mengatasi permasalahan sampah sekaligus menyediakan sumber energi alternatif di Indonesia. RDF diproduksi melalui serangkaian proses pengolahan sampah yang meliputi pemilahan, pengurangan ukuran, pengeringan, dan pemadatan untuk menghasilkan bahan bakar dengan nilai kalor yang optimal. Implementasi RDF dalam program *co-firing* di PLTU PLN telah menunjukkan hasil positif, dengan beberapa pembangkit seperti PLTU Jeranjang 150 MW, PLTU Barru 100 MW, dan PLTU Anggrek 56 MW telah beroperasi secara komersial menggunakan bahan bakar campuran RDF dan batubara. Namun, pengembangan dan implementasi RDF di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan yang signifikan. Tantangan tersebut mencakup aspek teknis seperti kualitas dan konsistensi bahan baku, kebutuhan modifikasi infrastruktur pembangkit listrik, serta aspek ekonomi termasuk biaya investasi yang tinggi dan kelayakan finansial. Selain itu, terdapat juga tantangan dalam hal regulasi, koordinasi antar pemangku kepentingan, dan penerimaan masyarakat. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan RDF di Indonesia, diperlukan pendekatan terpadu yang melibatkan dukungan kebijakan, investasi teknologi, pengembangan kapasitas, dan edukasi masyarakat, serta kolaborasi yang erat antara berbagai pihak terkait dalam rantai nilai RDF dan sektor energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abisono, F. G. (2024). Di Bawah Bayang-Bayang Perubahan Iklim: Transformasi Negara Pembangunan dan Agenda Transisi Energi di Indonesia. *Politika: Jurnal Ilmu Politik*, 15(1), 95–118. <https://doi.org/10.14710/politika.15.1.2024.95-118>
- Anggagana, D. G., Ramadani, R., & Yasi, R. M. (2023). Strategi Pengelolaan Limbah Kayu di Kawasan Pantai Mustika Pestanggaran Kabupaten Banyuwangi. *TEKIBA: Jurnal Teknologi Dan Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 40–45. <https://doi.org/10.36526/tekiba.v3i2.3140>
- Ariyani, D. T., Sudarti, S., & Yushardi, Y. (2023). Mekanisme dan Penerapan Refuse Derived Fuel (RDF) di Industri Pembangkit Listrik sebagai Alternatif Pengelolaan Sampah. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2), 318–329. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i2.3285>
- Aufi, I., Wintoko, J., & Masruroh, N. A. (2023). Evaluasi pemilihan teknologi *Co-firing* Biomassa pada PLTU batu bara dengan Metode Analytical Hierarchy Process (Studi Kasus: PLTU XYZ). *Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi*, 15(1), 88. <https://doi.org/10.28989/angkasa.v15i1.1641>
- Cahyo, N., Sulistiyowati, D., Rahmanta, M. A., Felani, M. I., Soleh, M., Paryanto, P., Prismantoko, A., & Hariana, H. (2024). A techno-economic and environmental analysis of *co-firing* implementation using coal and wood bark blend at circulating fluidized bed boiler. *International Journal of Renewable Energy Development*, 13(4), 726–735. <https://doi.org/10.61435/IJRED.2024.60234>

- Christanti, E. Y. I., Kumara, I. N. S., & Partha, C. G. I. (2022). Analisis Tekno-Ekonomi dari Refuse Derived Fuel (RDF) sebagai Waste To Energy (WTE) di TPA Pakusari Jember, Jawa Timur. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 21(2), 201. <https://doi.org/10.24843/mite.2022.v21i02.p07>
- Elsha, W., & Budiarto, R. (2023). Comparative Study of Waste to Energy (WtE) Technology in Municipal Solid Waste Management (MSWM) in Yogyakarta. *Journal of Industrial Engineering and Education*, 1(2), 53–65. <https://jieee.bksti.org/index.php/iee/article/view/19>
- Erlangga, D., Setiyo Huboyo, H., & Priyambada, I. B. (2023). Uji Efektivitas Implementasi Biomassa Pelet EFB dan Cangkang Sawit pada *Co-firing* di PLTU Tembilahan. *Jurnal Serambi Engineering*, VIII(2), 5376–5382.
- ESDM. (2024). *Rencana Co-firing pada PLTU Summary*. 12–13.
- Febriani, A. V., Hanum, F. F., Setiawan, M., & Kuncara, J. (2024). Optimalisasi Mutu Batubara Indonesia: Kajian Metode dan Potensi dalam Peningkatan Nilai Kalori Batubara. *Eksergi*, 21(2), 70–76. <http://jurnal.upnyk.ac.id/index.php/eksergi/article/view/11761/pdf>
- Idris, M., Setyawan, M., & Mufrodi, Z. (2024). Teknologi Insinerasi Sebagai Solusi Pengolahan Sampah Perkotaan dan Pemulihan Energi: A Review. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2024, April*. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/semnastek/article/view/22490/10451>
- Idris, M., Setyawan, M., & Suharto, T. E. (2024). Effect of Flow Rate Ratio of Air and Waste Cooking Oil on Combustion Temperature and Furnace Efficiency. *Eksergi*, 22(1), 25–32.
- Jamilatun, S., Pitoyo, J., & Setyawan, M. (2023). Technical, Economic, and Environmental Review of Waste to Energy Technologies from Municipal Solid Waste. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 581–593. <https://doi.org/10.14710/jil.21.3.581-593>
- Lisbona, P., Pascual, S., & Pérez, V. (2023). Waste to energy: Trends and perspectives. *Chemical Engineering Journal Advances*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2023.100494>
- Majhi, N., Sharma, P., & Brijpuria, V. (2021). Performance Evaluation of *Co-firing* MSW with Coal in A 600 Mw Coal-Fired Power Plant. *International Journal of Innovative Research in Technology*, 7(8), 166–169. https://ijirt.org/publishedpaper/IJIRT150641_PAPER.pdf
- Matsakas, L., Gao, Q., Jansson, S., Rova, U., & Christakopoulos, P. (2017). Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals. *Electronic Journal of Biotechnology*, 26, 69–83. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.01.004>
- Maulidayanti, E. M., Yuliani, M., Robbani, M. H., Hambali, E., & Setyaningsih, D. (2024). Evaluasi Produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan (Studi Kasus: RDF Plant di Kabupaten Cilacap). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 25(2), 179–189.
- Mulhidin, Wicaksana, F., & Azwarudin. (2022). Analisis *Co-firing* Refused Derived Fuel (Rdf) Di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Jeranjang. *Jurnal Sanitasi Dan Lingkungan*, 3(1), 251–258.
- Muslim, M., Buwono, A., Arifin, M. D., Febrian, S., O, A. C. P., & Dariansyah, M. R. (2022). Analisa Setting Katup 75 % Dan Heater 80 0c Pada Aliran Fluida Kerja Pada Pembangkit Listrik Sistem Organic Rankine Cycle. *Unsada E-Journal*, XII(2), 84–88. <https://unsada.e-mtk.uad.ac.id>

journal.id/jst/article/view/253/177

- Nanda, M. A., Sugandi, W., Wijayanto, A. K., Imantho, H., Sutawijaya, A., Nelwan, L. O., Budiastira, I. W., & Seminar, K. B. (2023). The Waste-to-Energy (WtE) Technology to Support Alternative Fuels for Agriculture in the Context of Effective Solid Waste Management in the Jabodetabek Area, Indonesia. *Energies*, 16(24). <https://doi.org/10.3390/en16247980>
- Nyoman, I., Winaya, S., Agung, I. B., & Susila, D. (2010). Co-firing Sistem Fluidized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 180–188.
- Primadanty, R. P. (2024). Potensi Biomassa Dalam Transisi Energi di Indonesia. *Parahyangan Economic Development Review*, 2(2), 136–143. <https://doi.org/10.26593/pedr.v2i2.7707>
- Pujotomo, I. (2016). Pemanfaatan Sampah Menjadi Sumber Energi. *Jurnal Energi & Kelistrikan*, 8(2), 108–113.
- Putra, B. R., Mangalla, L. K., & Gunawan, Y. (2022). Analisis Pengaruh Nilai Kalor Batubara Dan Excess Air Terhadap Efisiensi Boiler Di Pembangkit Listrik Pltu Moramo. *Enthalpy: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 6(1), 12. <https://doi.org/10.55679/enthalpy.v6i1.19128>
- Qonitan, F. D., Suryawan, I. W. K., & Rahman, A. (2021). Overview of Municipal Solid Waste Generation and Energy Utilization Potential in Major Cities of Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1858(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1858/1/012064>
- Rahmanta, M. A., Aprilana, A., Ruly, Cahyo, N., Hapsari, T. W. D., & Supriyanto, E. (2024). Techno-Economic and Environmental Impact of Biomass Co-firing with Carbon Capture and Storage in Indonesian Power Plants. *Sustainability (Switzerland)*, 16(8). <https://doi.org/10.3390/su16083423>
- Romianingsih, N. P. W. (2023). Waste to energy in Indonesia: opportunities and challenges. *Journal of Sustainability, Society, and Eco-Welfare*, 1(1), 60–69. <https://doi.org/10.61511/jssew.v1i1.2023.180>
- Saputro, E. (2021). Study Pustaka Penurunan Parameter Nox Dan Co Pada Emisi Gas Buang B30. *Jurnal Atmosphere*, 2(1), 31–35. <https://doi.org/10.36040/atmosphere.v2i1.3530>
- Scarlat, N., Motola, V., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., & Mofor, L. (2015). Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 1269–1286. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.05.067>
- Shovon, S. M., Akash, F. A., Rahman, W., Rahman, M. A., Chakraborty, P., Hossain, H. M. Z., & Monir, M. U. (2024). Strategies of managing solid waste and energy recovery for a developing country – A review. *Heliyon*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24736>
- Sidiq, A. N. (2022). Pengaruh Co-firing Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara. *Kilat*, 11(1), 21–31. <https://doi.org/10.33322/kilat.v11i1.1553>
- Sihombing, A. L. S. M., & Darmawan, R. (2020). Municipal Solid Waste Characteristic and Energy Potential in Piyungan Landfill. *Applied Mechanics and Materials*, 898, 58–63. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.898.58>
- SIPSN. (2023a). *Komposisi Sampah Nasional*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.

<https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>

SIPSN. (2023b). *Sumber Energi RDF Nasional*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/home/fasilitas/rdf>

SIPSN. (2023c). *Timbulan Sampah Nasional*. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/timbulan>

Soleh, M., Hidayat, Y., & Abidin, Z. (2019). *Co-firing RDF in CFB Boiler Power Plant. 2019 International Conference on Technologies and Policies in Electric Power and Energy, TPEPE 2019*. <https://doi.org/10.1109/IEEECONF48524.2019.9102591>

Triani, M., Anggoro, D. D., & Yunianto, V. D. (2024). Potensi Dekarbonisasi Pembangkit Listrik Batubara Melalui Cofiring Biomassa Dan Carbon Capture Utilization. *Metana*, 20(1), 57–68. <https://doi.org/10.14710/metana.v20i1.63102>

Wang, X., Rahman, Z. U., Lv, Z., Zhu, Y., Ruan, R., Deng, S., Zhang, L., & Tan, H. (2021). Experimental study and design of biomass *co-firing* in a full-scale coal-fired furnace with storage pulverizing system. *Agronomy*, 11(4), 1–11. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11040810>

Widowati, L. (2023). *Analisis Potensi Off-taker Refuse Derived Fuel (RDF)*.

Yuliani, M., Otvriyanti, Yusuf, N., Fani, A., & Purwanta, W. (2022). Kajian tekno-ekonomi penerapan insinerator waste-to-energy di indonesia (kasus pada kota “x”). *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 23(2), 126–134. <https://doi.org/10.29122/jtl.v23i2.5302>

Yuniar, R., & Santosa, J. M. J. P. (2022). Metode Insinerasi pada Fasilitas Pengolahan Sampah di Jakarta Timur. *Jurnal Sains, Teknologi, Urban, Perancangan, Arsitektur (Stupa)*, 3(2), 3165–3176. <https://doi.org/10.24912/stupa.v3i2.12400>