

Inovasi Pengelolaan Sampah Plastik dan Optimalisasi Energi: Analisa Co-Firing Pada Pembangkit Listrik Berbasis Batubara

Jaka Kuncara^{1*}, M. Idris¹, Siti Jamilatun¹, 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 dua tantangan utama yaitu ketergantungan tinggi pada batubara untuk pembangkit listrik yang dapat menghasilkan emisi gas rumah kaca, serta produksi sampah plastik yang mencapai 38.340.757,37 ton/tahun. Pemanfaatan sampah plastik melalui *co-firing* dengan batubara berpotensi memberikan kontribusi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, nilai tambah ekonomi dan meningkatkan efisiensi. Studi ini mengevaluasi potensi *co-firing* antara batubara dan sampah plastik dalam pembangkit listrik sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan pada batubara dan mengatasi masalah sampah plastik di Indonesia. Studi ini menggunakan pendekatan analisis dengan komposisi 90% batubara dan 10% sampah plastik jenis *Low-Density Polyethylene* (LDPE) dalam *Circulating Fluidized Bed* (CFB) boiler. Hasil menunjukkan bahwa *co-firing* meningkatkan nilai kalor campuran bahan bakar dari 3.627,463 kcal/kg menjadi 4.234,43 kcal/kg, serta menurunkan kadar air dan abu. Analisa pada pembangkit listrik berkapasitas 18.000 KW/jam menunjukkan penghematan konsumsi batubara sebesar 5.760,14 kg/jam, setara dengan 306,78 USD/jam. Selain itu, pencampuran ini meningkatkan kandungan karbon dan hidrogen, yang berkontribusi pada efisiensi pembakaran. Metode ini tidak hanya mempertahankan output listrik, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan melalui optimalisasi bahan bakar dan pengurangan emisi. Studi ini menyimpulkan bahwa *co-firing* batubara dengan sampah plastik memiliki potensi signifikan untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi dampak lingkungan, dan memberikan solusi terhadap permasalahan sampah plastik di Indonesia.

Kata kunci: Batubara; *Co firing*; Efisiensi energi; Indonesia; Sampah plastik.

ABSTRACT

Indonesia faces two major challenges, namely high dependence on coal for power generation which can produce greenhouse gas emissions, and plastic waste production reaching 38.340.757,37 tons/year. Utilization of plastic waste through *co-firing* with coal has the potential to contribute to reducing greenhouse gas emissions, economic added value and increasing efficiency. This study evaluates the potential for *co-firing* between coal and plastic waste in power generation as a solution to reduce dependence on coal and overcome the problem of plastic waste in Indonesia. This study uses a simulation approach with a composition of 90% coal and 10% Low-Density Polyethylene (LDPE) plastic waste in a *Circulating Fluidized Bed* (CFB) boiler. The results show that *co-firing* increases the calorific value of the fuel mixture from 3,627.463 kcal/kg to 4,234.43 kcal/kg, and reduces water and ash content. Analysis on a power plant with a capacity of 18,000 KW/hour show savings in coal consumption of 5,760.14 kg/hour, equivalent to 306.78 USD/hour. In addition, this blending increases the carbon and hydrogen content, which contributes to combustion efficiency. This method not only maintains the electrical output, but also provides economic and environmental benefits through fuel optimization and emission reduction. The study concluded that *co-firing* coal with plastic waste has significant potential to improve energy efficiency, reduce environmental impacts, and provide solutions to the plastic waste problem in Indonesia.

Keywords: Coal; *Co-firing*; Energy efficiency; Indonesia; Plastic waste.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan batubara sebagai sumber energi utama di sektor pembangkit listrik masih mendominasi sistem energi di Indonesia (Febriani et al., 2024). Namun, ketergantungan berlebih pada batubara menimbulkan tantangan, terutama terkait dengan peningkatan emisi gas rumah kaca dan dampak lingkungan lainnya (Idris et al., 2024). Di sisi lain, sampah juga merupakan salah satu isu lingkungan yang mendesak di Indonesia, terutama dengan meningkatnya volume sampah yang dihasilkan setiap tahun (Aini et al., 2022; Elsha & Budiarto, 2023; Mazzoni et al., 2020). Menurut data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Indonesia menghasilkan sekitar 38.340.757,37 ton sampah per tahun, di mana plastik menjadi salah satu komponen terbesar (SIPSN, 2023a). Jenis-jenis sampah plastik yang umum ditemukan meliputi kantong plastik, botol plastik, kemasan makanan, dan limbah elektronik (Abdel-Shafy & Mansour, 2018; Rudend & Hermana, 2021). Pengelolaan sampah yang tidak efektif menyebabkan pencemaran lingkungan, yang berdampak negatif pada kesehatan manusia dan ekosistem (Jamilatun et al., 2023; Pujotomo, 2016).

Salah satu pendekatan yang dapat menjawab kedua permasalahan tersebut adalah metode *co-firing*, yaitu pembakaran bersama antara batubara dengan bahan bakar alternatif dalam satu unit pembangkit listrik, seperti sampah plastik (Dwiaji, 2023). *Co-firing* memberikan peluang untuk mengurangi ketergantungan pada batubara sekaligus memanfaatkan limbah plastik yang sulit terurai sebagai sumber energi. Metode ini tidak hanya dapat mengurangi volume sampah yang berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA) tetapi juga meningkatkan efisiensi energi dengan menambah nilai kalor dari campuran bahan bakar (Anam, 2020; Nanda et al., 2023).

Dalam proses *co-firing*, pemilihan tipe boiler yang tepat sangat penting untuk memaksimalkan efisiensi pembakaran dan meminimalkan emisi gas buang. Tipe-tipe boiler yang digunakan untuk proses *co-firing* memiliki karakteristik yang berbeda-beda, tergantung pada bahan bakar yang digunakan dan desain teknisnya. Beberapa tipe boiler yang umum digunakan antara lain PC boiler (*Pulverized Coal Boiler*), CFB boiler (*Circulating Fluidized Bed Boiler*), dan *Travelling Grate Boiler*.

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi potensi pembangkitan energi listrik melalui metode *co-firing* antara batubara dan plastik dalam pembangkit listrik. Studi ini memodelkan campuran bahan bakar dengan komposisi 90% batubara dan 10% sampah plastik untuk dianalisis dari sisi konsumsi bahan bakar, efisiensi energi, dan penghematan ekonomi. Analisa dilakukan dengan menggunakan CFB boiler, yang dikenal fleksibel dalam menangani berbagai jenis bahan bakar. Hasil dari analisa ini diharapkan dapat memberikan manfaat ganda, yaitu optimalisasi sumber daya energi dan peningkatan keberlanjutan dalam manajemen sampah plastik.

2. KOMPOSISI SAMPAH NASIONAL

2.1 Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah

Berdasarkan data komposisi sampah nasional tahun 2021-2023 yang disajikan pada Tabel 1, terlihat bahwa sampah di Indonesia didominasi oleh sisa makanan yang mencapai sekitar 39-40% dari total sampah. Yang menarik untuk diperhatikan adalah komposisi sampah plastik yang menunjukkan tren peningkatan konsisten dari 17,75% pada tahun 2021 menjadi 19,16% di tahun 2023 (SIPSN, 2023b). Peningkatan ini, meski mengkhawatirkan dari sisi lingkungan, sebenarnya menyimpan potensi besar untuk dimanfaatkan, khususnya dalam sektor energi (Abdel-Shafy & Mansour, 2018; Jamilatun et al., 2023).

Tabel 1. Komposisi sampah berdasarkan jenis sampah

Komposisi Sampah	Tahun 2021 (%)	Tahun 2022 (%)	Tahun 2023 (%)
Sisa makanan	38,79	39,77	39,82
Kayu/ranting	13,19	13,1	11,86
Kertas/karton	11,81	11,31	10,81
Plastik	17,75	18,34	19,16
Logam	3,37	3,17	3,24
Kain	2,72	2,51	2,95
Karet/Kulit	1,95	2,21	2,56
Kaca	2,52	2,23	2,47
Lainnya	7,9	7,36	7,13

Sumber: (SIPSN, 2023a)

Sampah plastik memiliki nilai kalor yang tinggi, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif melalui metode *co-firing* dengan batubara di pembangkit listrik (Inayat et al., 2022; Soleh et al., 2019; Yuniar & Santosa, 2022). Metode ini tidak hanya dapat membantu mengurangi volume sampah plastik yang mencemari lingkungan, tetapi juga berkontribusi dalam mengurangi ketergantungan pada batubara sebagai bahan bakar fosil (Dwiaji, 2023; Putra et al., 2022). Selain itu, *co-firing* sampah plastik dengan batubara dapat memberikan manfaat tambahan berupa pengurangan emisi CO₂ dibandingkan dengan pembakaran batubara murni (Anam, 2020; Tentero et al., 2022; Putra et al., 2022).

2.2 Jenis-jenis sampah plastik

Sampah plastik terbagi menjadi tujuh jenis utama, antara lain: PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High-Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*Low-Density Polyethylene*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*) dan *Other* (Lain-lain). Setiap jenis sampah memiliki karakteristik yang berbeda (Areeprasert et al., 2017; Rudend & Hermana, 2021). Pada Tabel 2. disajikan karakteristik dari 7 jenis plastik dan contoh produknya.

Dari jenis-jenis sampah plastik tersebut, nilai kalori yang terkandung pun berbeda-beda seperti yang terlihat pada tabel 3. Nilai kalori tertinggi terdapat pada jenis sampah plastik PP yaitu sebesar 42.427 kJ/kg. Adapun nilai kalori yang terendah terdapat pada plastik PET dengan nilai kalori sebesar 21.285 kJ/kg. Dari segi potensi energi, jenis plastik PP, PS, dan LDPE menjadi kandidat yang sangat potensial untuk menjadi bahan bakar alternatif karena nilai kalornya yang tinggi (Gao et al., 2022; Idris et al., 2024).

Tabel 2. Karakteristik dari 7 jenis sampah plastik dan contoh produknya (Areeprasert et al., 2017).

Jenis Plastik	Ciri-ciri	Contoh produk
PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)	Tidak berwarna, transparan, jernih dan bahannya keras tetapi fleksibel.	Botol minuman lainnya, botol minyak goreng, botol kecap, botol sambal, botol obat, botol madu, dan lain-lain.
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Berwarna, tampak seperti berkilau dipermukaan luar dan bahannya lebih keras tetapi tidak fleksibel.	Botol susu cair, botol jus, wadah es krim, botol obat, botol shampoo, botol sabun, botol oli, botol pembersih toilet, botol kosmetik, tutup botol, dan lain-lain.
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Berwarna, bahannya keras dan kasar.	Pipa, tube, isolasi kabel listrik dan telpon, sol sepatu, sepatu, sepatu boot, container, bagian-bagian dari produk elektrik dan elektronika, komponen mobil.

Jenis Plastik	Ciri-ciri	Contoh produk
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Berwarna atau putih tetapi tidak tembus cahaya. Bahannya lunak dan fleksibel.	Kantong kresek, plastik tipis, tali rafia.
PP (<i>Polypropylene</i>)	Terlihat transparan tapi tidak jernih atau terlihat seperti berawan. Bentuknya keras tetapi lebih fleksibel.	Kemasan makanan, tempat obat, botol susu, sedotan, dan lain-lain.
PS (<i>Polystyrene</i>)	Terdapat 2 jenis PS yaitu yang kaku dan yang lunak. Yang kaku, bentuknya biasanya jernih seperti kaca, kaku, mudah dibentuk sedangkan yang lunak berbentuk seperti busa, biasanya berwarna putih dan lunak.	Styrofoam, wadah makanan dan minuman sekali pakai.
Other	Bening atau berwarna tetapi tembus cahaya. Bersifat keras dan kasar.	Galon air minum, botol susu, peralatan makan bayi.

Tabel 3. Komponen sampah plastik (Wahyudi et al., 2018).

Komponen	Komposisi, %	Jumlah, t/th
<i>Polyethylene</i> (HDPE dan LDPE)	46	1.298.634,61
<i>Polypropylene</i> (PP)	16	451.698,99
<i>Polystyrene</i> (PS)	16	451.698,99
<i>Polyvinyl Chloride</i> (PVC)	7	197.618,31
<i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET)	5	141.155,94
<i>Acrylonitrile-Butadiene-Styrene</i> (ABS)	5	141.155,94
Polimer lainnya	5	141.155,94
Total		2.823.118,71

Tabel 4. Nilai kalori LHV sampah plastik (Areeprasert et al., 2017).

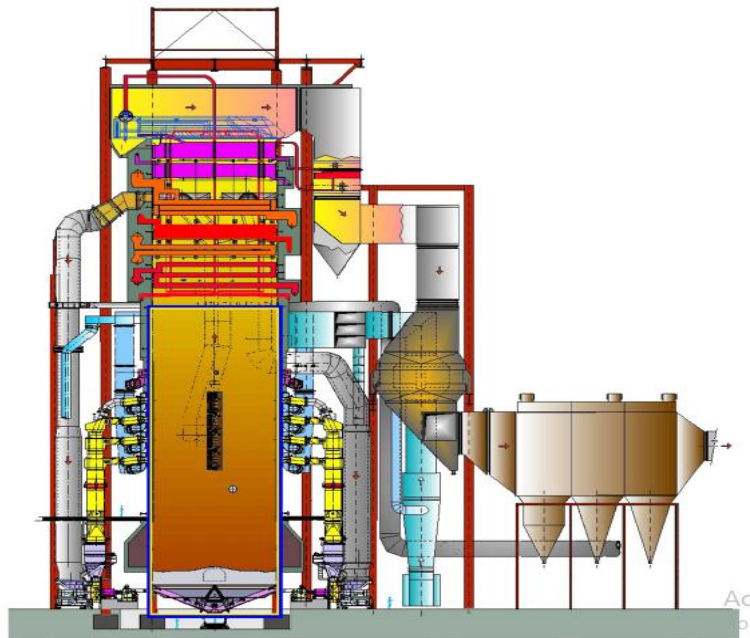
Jenis plastik	Nilai kalor LHV (kJ/kg)
PET	21.285
HDPE	34.105
LDPE	38.945
PP	42.427
PS	39.137

3. PEMBAHASAN CO FIRING

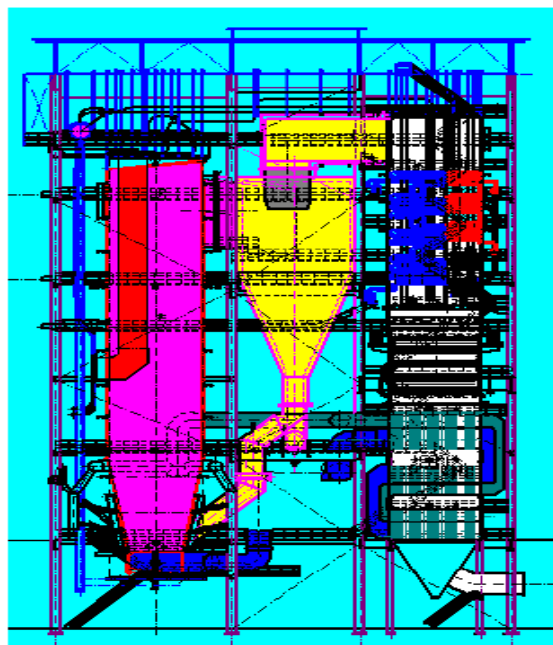
3.1 Tipe-tipe boiler untuk proses co-firing

Co-firing adalah proses pembakaran bersama antara bahan bakar fosil, seperti batu bara, dengan bahan bakar alternatif seperti sampah plastik (Anam, 2020; Dwiaji, 2023). Dalam proses co-firing, ada 3 tipe boiler yang memungkinkan untuk digunakan yaitu PC boiler (*Pulverized Coal Boiler*), CFB boiler (*Circulating Fluidized Bed Boiler*), dan *Travelling Grate Boiler* (Cahyo et al., 2024). PC boiler bekerja dengan menghancurkan batu bara menjadi serbuk halus sehingga dapat dibakar lebih efisien di dalam ruang bakar (Rahmanta et al., 2024), seperti yang terdapat pada Gambar 1. Tipe ini cocok untuk co-firing karena serbuk plastik (seperti PP, PE atau LDPE) juga dapat dicampurkan ke dalam

aliran batu bara halus (Wang et al., 2021). Namun, tantangan utamanya adalah kontrol emisi, karena pembakaran serbuk plastik bisa menghasilkan senyawa berbahaya, sehingga diperlukan sistem pengendalian emisi yang canggih seperti *scrubber* dan *electrostatic precipitators* (ESP) (Cahyo et al., 2024; Nukman, 2010; Rahmanta et al., 2024).



Gambar 1. Tipe PC boiler.
Sumber: (Constenla et al., 2013)

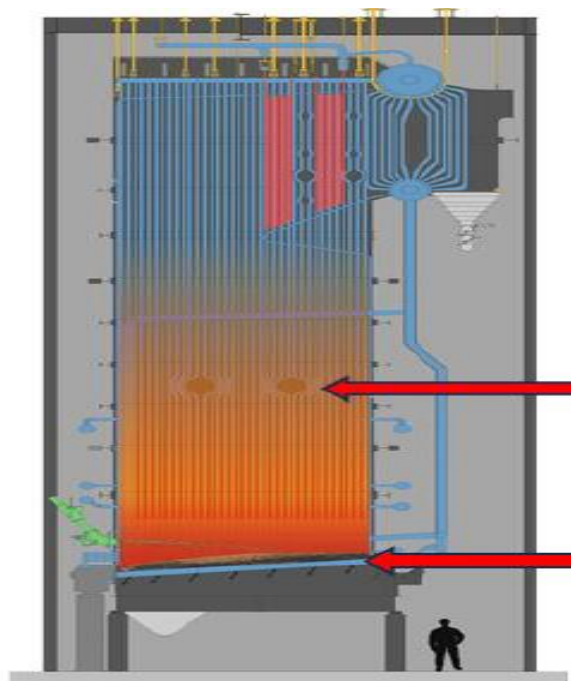


Gambar 2. Tipe CFB boiler.
Sumber: (Yue et al., 2017)

Cara kerja dari CFB boiler menggunakan aliran udara untuk membuat bahan bakar dan material inert seperti pasir mengapung dalam ruang bakar, memungkinkan pembakaran yang lebih merata pada

suhu lebih rendah (800–900°C) (Soleh et al., 2019), seperti yang terlihat pada Gambar 2. Boiler ini sangat fleksibel dan dapat menangani berbagai jenis bahan bakar, termasuk sampah plastik, biomassa, dan batu bara dengan kualitas rendah. Keuntungan utama CFB dalam co-firing adalah kemampuannya mengurangi emisi nitrogen oksida (NO_x) dan sulfur dioksida (SO₂), sehingga cocok untuk pembakaran plastik yang menghasilkan polutan (Cahyo et al., 2024; Dwiaji, 2023).

Adapun prinsip kerja untuk *travelling grate* boiler menggunakan sabuk bergerak untuk membawa bahan bakar (seperti batu bara atau biomassa) melintasi ruang bakar, di mana proses pembakaran terjadi secara bertahap (Chen et al., 2017), seperti yang telah disajikan pada Gambar 3. Jenis boiler ini lebih sederhana dan sering digunakan untuk bahan bakar padat dengan ukuran besar atau limbah. *Co-firing* dengan plastik dalam sistem ini membutuhkan plastik dalam bentuk pelet agar bisa terbakar secara efisien di atas *grate* (Nainggolan et al., 2023; Sihombing & Darmawan, 2020). Meski efisiensinya lebih rendah dibanding PC dan CFB boiler, *travelling grate* boiler lebih murah dan mudah dioperasikan, tetapi tantangan utamanya adalah kontrol emisi dan penumpukan abu (Majhi et al., 2021; Scarlet et al., 2015).



Gambar 3. Tipe *travelling grate* boiler.
Sumber: (Frommer, 2024)

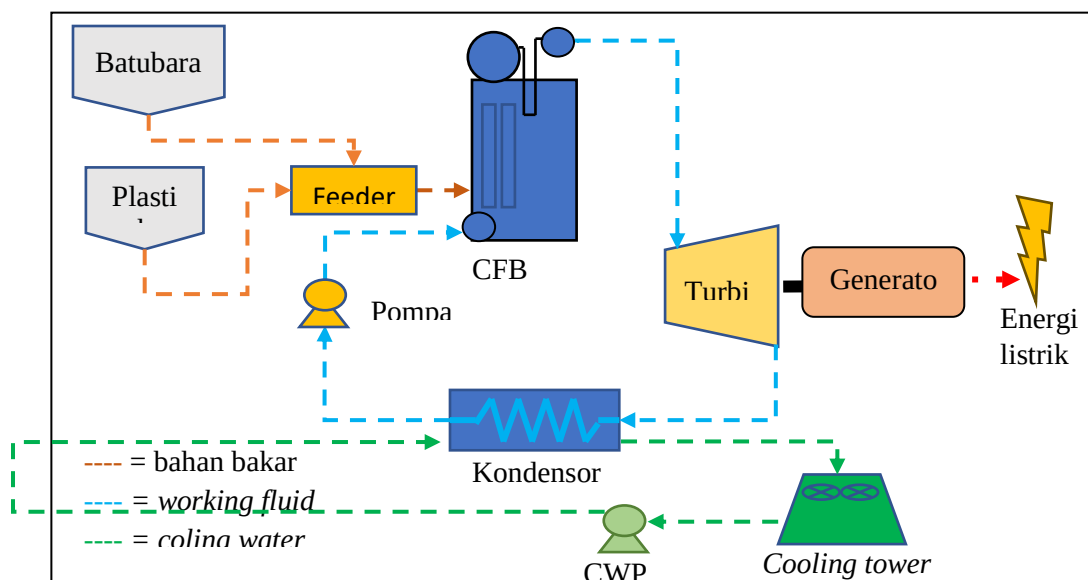
3.2 **Main Equipment Dalam Analisa Proses Co-Firing Batubara dan Sampah Plastik Menjadi Energi Listrik**

Main equipment dalam analisa proses *co-firing* batubara dan sampah plastik menjadi energi listrik diperlukan 3 alat utama yaitu boiler, turbin dan generator. Adapun *main equipment* yang digunakan disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. *Main equipment* pada pembangkit listrik.

Peralatan Utama	Parameter Utama	Nilai
CFB Boiler	<i>Rated evaporating capacity</i> (t/h)	150
	<i>Rated steam pressure</i> (MPa)	5,4
	<i>Rated steam temperature</i> (°C)	485
	<i>Feed water temperature</i> (°C)	150
Turbin	<i>Rated power</i> (MW)	25
	<i>Main steam pressure</i> (MPa)	5,1
	<i>Main steam temperature</i> (°C)	480
	<i>Rated rotation speed</i> (rpm)	3.000
Generator	<i>Rated capacity</i> (kVA)	35.000
	<i>Rated voltage</i> (kV)	10,5/20
	<i>Rated speed</i> (rpm)	3.000
	<i>Rated power factor</i> (lag)	0,85
	<i>Rated frequency</i> (Hz)	50

Sumber: Data PT. XXX



Gambar 4. Skema proses *co-firing* batubara dan plastik menjadi listrik.

Berdasarkan gambar 4. skema proses *co-firing* batubara dan plastik menggunakan CFB boiler untuk menghasilkan listrik dimulai dengan pembakaran campuran batubara dan plastik dalam bentuk pelet di dalam boiler. Aliran udara dalam CFB membuat bahan bakar dan partikel inert, seperti pasir, melayang sehingga pembakaran berlangsung merata pada suhu 800–900°C, sekaligus mengurangi emisi NO_x dan SO₂. Panas hasil pembakaran ini digunakan untuk memanaskan air dalam pipa-pipa yang mengelilingi boiler hingga berubah menjadi uap bertekanan tinggi. Uap tersebut kemudian diarahkan ke turbin, menyebabkan baling-baling turbin berputar. Gerakan rotasi turbin selanjutnya diteruskan ke poros generator, yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik melalui induksi elektromagnetik. Setelah melewati turbin, uap dikondensasi kembali menjadi air di dalam kondensor dan dikembalikan ke boiler untuk digunakan ulang. Proses ini berjalan secara berkelanjutan, memungkinkan pemanfaatan energi secara efisien sekaligus mengurangi sampah plastik dan ketergantungan pada batubara sebagai sumber energi utama.

3.3 Karakteristik Batubara dan Sampah Plastik

Analisis karakteristik *co-firing* batubara dan sampah plastik menunjukkan potensi signifikan untuk menghasilkan listrik dengan efisiensi lebih tinggi dan dampak lingkungan yang lebih rendah (Dwiaji, 2023; Tentero et al., 2022; Wibowo & Windarta, 2020). Proses *co-firing* ini memungkinkan pembangkit listrik meningkatkan kinerja sambil mengurangi jejak karbon dan memberikan solusi bagi pengelolaan sampah plastik (Mortezaeikia et al., 2021). Analisis dilakukan dengan membandingkan dua skenario: penggunaan 100% batubara dan *co-firing* dengan komposisi 90% batubara serta 10% sampah plastik jenis LDPE. Proses analisis melibatkan pengukuran perubahan nilai kalor, kandungan karbon, kadar air, dan abu setelah pencampuran. Tabel 6, menyajikan data karakteristik dari bahan bakar batubara dan sampah plastik. Sedangkan, karakteristik bahan bakar setelah dilakukan pencampuran batubara dan sampah plastik disajikan pada tabel 7.

Tabel 6. Karakteristik bahan bakar batubara dan sampah plastik (Adedeji et al., 2021).

No	Parameter	Batubara	Sampah Plastik
Proximate analysis			
1	Total moisture (%wt)	36,75	1,2
2	Ash (%wt)	4,82	0,5
3	Volatile matter (%wt)	29,92	98,3
4	Fixed carbon (%wt)	28,51	-
5	Caloric value (kcal/kg)	3.627,463	9.697,144
Ultimate analysis			
1	Carbon (%wt)	40,08	93,76
2	Hydrogen (%wt)	2,98	5,74
3	Nitrogen (%wt)	0,54	0
4	Sulpur (%wt)	0,16	0
5	Oxygen (%wt)	14,68	0,5

Tabel 7. Karakteristik bahan bakar setelah dilakukan proses pencampuran

Komponen	Rasio Batubara 90% + Sampah Plastik 10%
Carbon (%wt)	45,45
Hydrogen (%wt)	3,25
Nitrogen (%wt)	0,48
Sulpur (%wt)	0,15
Oxygen (%wt)	13,26
Total moisture (%wt)	33,2
Ash (%wt)	4,38
Caloric value (kcal/kg)	4.234,43

Sumber: Data diolah

Berdasarkan tabel 6 dan 7, perbandingan karakteristik bahan bakar sebelum dan setelah proses pencampuran, terdapat beberapa perubahan signifikan pada komposisi dan nilai kalor bahan bakar. Pada analisis ultimate, kandungan karbon mengalami peningkatan dari 40,08% pada batubara murni menjadi 45,45% setelah pencampuran dengan sampah plastik. Hal ini disebabkan oleh tingginya kandungan karbon pada sampah plastik (93,76%). Kandungan hidrogen juga meningkat dari 2,98% menjadi 3,25%, yang dipengaruhi oleh tingginya kandungan hidrogen pada sampah plastik (13,93%). Sementara itu, kandungan nitrogen, sulfur, dan oksigen mengalami penurunan setelah proses

pencampuran, masing-masing dari 0,54% menjadi 0,48%, 0,16% menjadi 0,15%, dan 14,68% menjadi 13,26%.

Pada analisis proksimat, pencampuran sampah plastik memberikan dampak positif terhadap karakteristik bahan bakar. *Total moisture* mengalami penurunan signifikan dari 36,75% menjadi 33,2%, yang menguntungkan karena dapat meningkatkan efisiensi pembakaran. Kandungan abu juga sedikit menurun dari 4,82% menjadi 4,38%. Yang paling menguntungkan adalah peningkatan nilai kalor dari 3.627,463 kcal/kg pada batubara murni menjadi 4.234,43 kcal/kg setelah pencampuran. Peningkatan ini dipengaruhi oleh tingginya nilai kalor sampah plastik yaitu 9.697,144 kcal/kg. Perubahan karakteristik ini menunjukkan bahwa penambahan sampah plastik sebanyak 10% dalam proses pencampuran dapat meningkatkan kualitas bahan bakar, terutama dari segi nilai kalor dan pengurangan kadar air, sementara tetap menjaga kandungan abu dan sulfur pada level yang relatif rendah.

3.4 Analisa Produksi Energi Listrik Dengan Proses *Co-Firing* Batubara dan Sampah Plastik

Pembangkit listrik dengan kapasitas 18.000 KW/jam melakukan perbandingan menggunakan bahan bakar batubara 100% dan *co-firing* batu bara dengan sampah plastik 10%. Hasilnya telah disajikan pada tabel 8, yang menunjukkan perbedaan signifikan dalam konsumsi bahan bakar untuk menghasilkan energi dengan jumlah yang sama.

Tabel 8. Perbandingan produksi energi listrik dengan bahan bakar batubara dan *co-firing* batubara dan sampah plastik.

Parameter	Batubara 100%	Co firing	
		Batubara 90%	Sampah Plastik 10%
Konsumsi bahan bakar (kg/jam)	25.152,66	19.392,52	2.154,72
Produksi energi (kcal/jam)	91.240.319,19	72.041.255,73	20.894.674,01
<i>Saving</i> batubara (kg/jam)		5.760,14	

Sumber: Data diolah

Berdasarkan tabel 8. untuk menghasilkan listrik sebesar 18.000 kW/jam dengan menggunakan 100% batubara, membutuhkan konsumsi bahan bakar sebanyak 25.152,66 kg/jam dengan energi total 91.240.319,19 kcal/jam. Dengan penerapan *co-firing* menggunakan 10% sampah plastik, konsumsi batu bara berkurang menjadi 19.392,52 kg/jam, sementara plastik yang digunakan sebanyak 2.154,72 kg/jam. Total energi yang dihasilkan dari campuran ini mencapai 72.041.255,73 kcal/jam dari batu bara dan 20.894.674,01 kcal/jam dari plastik, tanpa mengurangi output listrik yang dihasilkan.

Co-firing ini memberikan penghematan konsumsi batu bara sebesar 5.760,14 kg/jam, yang secara ekonomi setara dengan 306,78 USD/jam berdasarkan harga batu bara 53,26 USD/ton (*Harga Mineral Logam Acuan dan Harga Batubara Acuan Untuk Bulan September 2024*, 2024). Penggunaan sampah plastik sebagai bahan bakar alternatif tidak hanya meningkatkan efisiensi energi tetapi juga mengurangi ketergantungan pada batu bara serta membantu penanganan limbah plastik. Hasil ini menunjukkan bahwa *co-firing* tidak hanya dapat menjaga tingkat produksi listrik, tetapi juga memberikan manfaat ekonomi dan lingkungan melalui optimalisasi bahan bakar dan penurunan emisi dari pembakaran batubara murni.

4. KESIMPULAN

Potensi pemanfaatan sampah plastik sebagai bahan bakar alternatif melalui metode *co-firing* dengan batubara dapat dilakukan karena produksi sampah plastik di Indonesia terus mengalami

peningkatan. Metode *co-firing* menggunakan campuran 90% batubara dan 10% sampah plastik memiliki potensi signifikan dalam meningkatkan efisiensi energi sekaligus mengurangi dampak lingkungan. Penggunaan CFB boiler dalam penerapan proses *co-firing* dengan plastik seperti LDPE, yang memiliki nilai kalor sebesar 9.697,144 kcal/kg, dapat meningkatkan nilai kalor campuran dari 3.627,463 kcal/kg menjadi 4.234,43 kcal/kg. Selain itu, *co-firing* berhasil menurunkan konsumsi batubara sebesar 5.760,14 kg/jam, menghasilkan penghematan biaya hingga 306,78 USD/jam. Dari sisi komposisi bahan bakar, pencampuran ini juga meningkatkan kandungan karbon dan hidrogen yang memperbaiki kualitas pembakaran, sekaligus menurunkan kadar air dan abu, yang berkontribusi pada efisiensi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). *Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization*. In *Egyptian Journal of Petroleum* (Vol. 27, Issue 4, pp. 1275–1290). Egyptian Petroleum Research Institute. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Adedeji, W., Olukayode, O., Adeboye, B., Idris, M. O., Rabi, K., & Adefajo, A. (2022). *Thermogravimetric Analysis and Kinetic Study on the Pyrolysis of Some Post-Consumer Plastic Wastes*. *Premier Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(1), 1–9. https://www.researchgate.net/publication/373106347_Thermogravimetric_Analysis_and_Kinetic_Study_on_the_Pyrolysis_of_Some_Post-Consumer_Plastic_Wastes
- Aini, N. A., Jamilatun, S., & Pitoyo, J. (2022). Pengaruh Tipe Biomassa pada Produk Pirolisis : A Review. *Agroindustrial Technology Journal*, 6(1), 89–101. <https://doi.org/10.21111/atj.v6i1.7559>
- Anam, A. (2020). Peningkatan Kualitas Batubara Peringkat Rendah dengan Teknik *Flash Drying*. *Piston: Journal of Technical Engineering*, 4(1), 11–17. <https://doi.org/10.32493/pjte.v4i1.7353>
- Areeprasert, C., Asingsamanunt, J., Srisawat, S., Kaharn, J., Inseemeeesak, B., Phasee, P., Khaobang, C., Siwakosit, W., & Chiemchaisri, C. (2017). *Municipal Plastic Waste Composition Study at Transfer Station of Bangkok and Possibility of its Energy Recovery by Pyrolysis*. *Energy Procedia*, 107(September), 222–226. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.12.132>
- 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>
- Chen, H., Pan, P., Jiao, J., Wang, Y., & Zhao, Q. (2017). *Low-temperature ash deposition and dewpoint corrosion of a coal-fired travelling grate boiler*. *Applied Thermal Engineering*, 117, 752–761. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.052>
- Dwija, Y. C. (2023). Analisis Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan Boiler PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, 3(1), 7–15. <https://doi.org/10.52158/jamere.v3i1.445>
- 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>
- 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>
- Gao, N., Milandile, M. H., Sipra, A. T., Su, S., Miskolczi, N., & Quan, C. (2022). *Co-pyrolysis of municipal solid waste (MSW) and biomass with Co/sludge fly ash catalyst*. *Fuel*, 322.
- Harga Mineral Logam Acuan Dan Harga Batubara Acuan Untuk Bulan September 2024 (2024).
- 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>
- Inayat, A., Rocha-Meneses, L., Ghenai, C., Abdallah, M., Shanableh, A., Al-Ali, K., Alghfeli, A., & Alsuwaidi, R. (2022). *Co-pyrolysis for bio-oil production via fixed bed reactor using date seeds and plastic waste as biomass*. *Case Studies in Thermal Engineering*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.101841>
- 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>
- Jamine, A. R., & Hermana, J. (2020). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2), 124–130.
- 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
- Mazzoni, L., Janajreh, I., Elagroudy, S., & Ghenai, C. (2020). *Modeling of plasma and entrained flow co-gasification of MSW and petroleum sludge*. *Energy*, 196. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117001>
- Mortezaeikia, V., Tavakoli, O., & Khodaparasti, M. S. (2021). *A review on kinetic study approach for pyrolysis of plastic wastes using thermogravimetric analysis*. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 160(105340). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaap.2021.105340>
- Muhammad, H. N., Rijanto, A., & Dyah, A. I. (2022). Analisis Pengaruh Jumlah Rasio Konsumsi Bahan Bakar Batubara Terhadap Efisiensi Boiler. *Majamecha*, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.36815/majamecha.v4i1.1311>
- 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-journal.id/jst/article/view/253/177>
- Nainggolan, I. F., Hadiyanto, H., & Utomo, T. S. (2023). *Performance Analysis of Co-firing Using Palm Kernel Shells in Chain Grate Stoker Coal Fired Power Plant 2 x 7 MW*. *Briliant: Jurnal Riset Dan Konseptual*, 8(2), 527. <https://doi.org/10.28926/briliant.v8i2.1349>
- 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>

- Nukman. (2020). Uji Emisi Hasil Pembakaran Batubara Hasil Proses Aglomerasi Air-Minyak Sawit. *Jurnal Rekayasa Sriwijaya*, 19(1), 34–38.
- 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>
- 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>
- 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>
- 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). *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>
- 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>
- Wibowo, S. A., & Windarta, J. (2020). Pemanfaatan Batubara Kalori Rendah Pada PLTU untuk Menurunkan Biaya Bahan Bakar Produksi. *Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 1(3), 100–110. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.10029>
- 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>