

Evaluasi Perbandingan Karakteristik Penerapan Cofiring dan Coalfiring terhadap Operasional dan Finansial pada PT XYZ

Alfito Ariq Wicaksono¹, Paulus Sukusno^{1*}, Adi Syuriadi¹

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*Corresponding author E-mail address: Alfito.Ariq.Wicaksono.tm22@mhswn.pnj.ac.id

Abstrak

Pemanfaatan biomassa melalui cofiring merupakan salah satu strategi untuk mengurangi konsumsi batubara pada pembangkit listrik tenaga uap, namun perbedaan jenis biomassa dan persentase campuran dapat memengaruhi efisiensi pembakaran serta biaya pembangkitan. Penelitian ini bertujuan membandingkan kondisi coalfiring (100% batubara) dengan cofiring sekam padi dan sawdust pada campuran 5% dan 10% di beban 110 MW pada PT XYZ, serta menentukan variasi yang paling optimal dari aspek teknis dan finansial. Penelitian menggunakan desain observasional deskriptif-komparatif dengan pendekatan kuantitatif berbasis data operasional aktual. Efisiensi boiler dihitung menggunakan metode langsung, yaitu rasio energi panas yang diserap air-uap terhadap energi bahan bakar; Specific Fuel Consumption (SFC) dihitung dari massa bahan bakar terhadap energi listrik bruto; sedangkan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) dihitung dari total biaya bahan bakar terhadap energi listrik bruto. Analisis dilakukan terhadap rata-rata sembilan data operasional pada setiap kondisi dan data finansial selama empat jam pencatatan. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi coalfiring sebesar 64,38%. Cofiring sekam padi 5% meningkatkan efisiensi menjadi 68,95%, sedangkan sekam padi 10%, sawdust 5%, dan sawdust 10% masing-masing menghasilkan efisiensi 60,09%, 61,78%, dan 56,09%. Nilai SFC meningkat seiring penambahan biomassa, dengan nilai tertinggi 0,889 kg/kWh pada sawdust 10%. Dari aspek finansial, sekam padi 5% menghasilkan BPP terendah sebesar Rp718,307/kWh dan penghematan Rp4,213/kWh. Dengan demikian, cofiring sekam padi 5% merupakan variasi paling optimal karena meningkatkan efisiensi boiler sekaligus menurunkan biaya pembangkitan..

Kata kunci: coalfiring, cofiring, sekam padi, sawdust, efisiensi boiler, SFC, BPP.

Abstract

Biomass cofiring is one strategy for reducing coal consumption in steam power plants; however, differences in biomass type and blending ratio may affect combustion efficiency and generation cost. This study compares coalfiring (100% coal) with rice husk and sawdust cofiring at 5% and 10% blending ratios under a 110 MW load at PT XYZ and determines the most favorable option from technical and financial perspectives. The study applied an observational descriptive-comparative design with a quantitative approach using actual operating data. Boiler efficiency was calculated by the direct method as the ratio of heat absorbed by the water-steam system to fuel heat input; Specific Fuel Consumption (SFC) was calculated from fuel mass per gross electrical energy; and Cost of Supply (BPP) was calculated from total fuel cost per gross electrical energy. The analysis used the average of nine operating records for each condition and four-hour financial records. Coalfiring produced a boiler efficiency of 64.38%. Rice husk cofiring at 5% increased efficiency to 68.95%, whereas rice husk 10%, sawdust 5%, and sawdust 10% produced efficiencies of 60.09%, 61.78%, and 56.09%, respectively. SFC increased as the biomass ratio increased, reaching the highest value of 0.889 kg/kWh for 10% sawdust. Financially, 5% rice husk produced the lowest BPP of Rp718.307/kWh and a saving of Rp4.213/kWh. Therefore, 5% rice husk cofiring is the most optimal variation because it improves boiler efficiency while reducing generation cost.

Keywords: coalfiring, cofiring, rice husk, sawdust, boiler efficiency, SFC, BPP.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat sehingga pembangkit listrik dituntut untuk mempertahankan keandalan operasi sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan energi[1]. Di sisi lain, sebagian pembangkit masih bergantung pada batubara yang tergolong energi fosil dan menghasilkan emisi gas buang tinggi[2]. Upaya peningkatan bauran energi baru terbarukan dan pengurangan emisi menjadi dasar penting penerapan teknologi cofiring biomassa pada pembangkit listrik tenaga uap (PLTU)[3]. Cofiring merupakan proses pencampuran batubara dengan biomassa sebagai bahan bakar tambahan di dalam sistem pembakaran[4]. Penerapan cofiring dinilai mampu mengurangi konsumsi batubara[5], memanfaatkan limbah organik atau residu sebagai energi[6], serta mendukung transisi energi di sektor pembangkitan[7]. Namun, karakteristik biomassa yang berbeda, seperti nilai kalor, kadar air, kadar abu, kandungan sulfur, dan sifat abu, dapat memengaruhi proses pembakaran, efisiensi boiler, emisi, serta potensi gangguan operasional seperti slagging dan fouling[8].

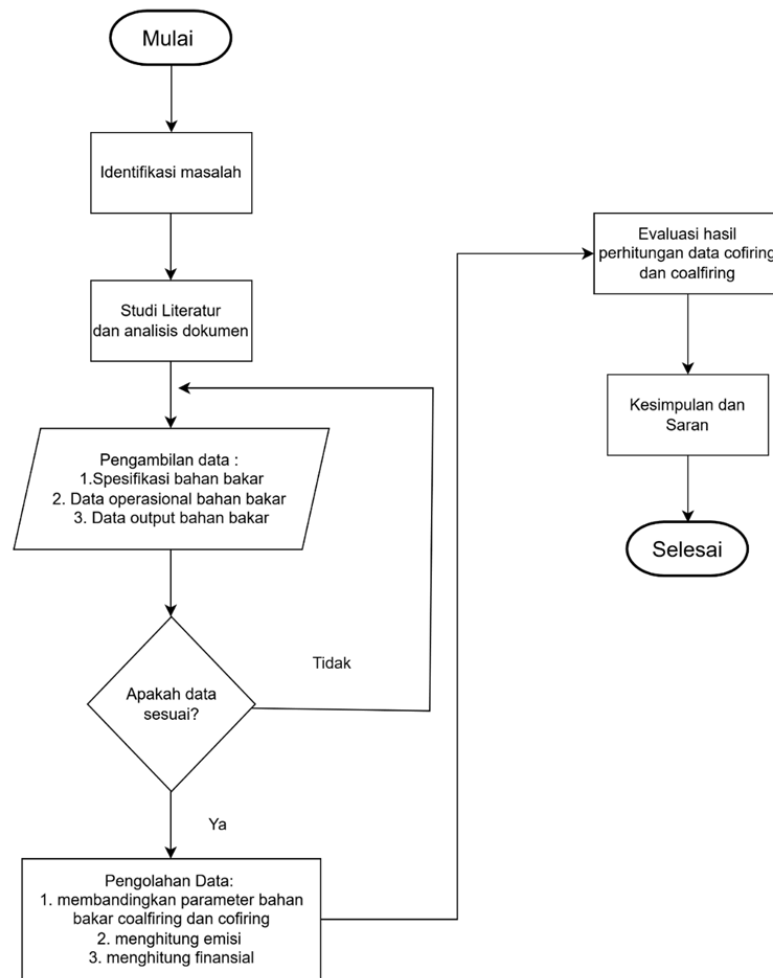


Gambar 1. Jenis jenis biomassa

PT XYZ telah melakukan pengujian terhadap beberapa jenis biomassa sebagai bahan cofiring, yaitu cangkang sawit, sekam padi, sawdust, dan woodchip[9]. Setiap jenis biomassa memiliki karakteristik yang berbeda sehingga diperlukan evaluasi komparatif terhadap kinerja operasi, emisi, dan aspek finansial. Penelitian ini difokuskan untuk mengetahui pengaruh cofiring dibandingkan coalfiring serta menentukan jenis biomassa dan persentase campuran yang paling optimal berdasarkan efisiensi boiler, SFC, dan BPP[10].

PT XYZ telah menguji beberapa biomassa, termasuk sekam padi dan sawdust, tetapi belum tersedia evaluasi terintegrasi yang membandingkan kedua bahan tersebut pada beban dan boiler yang sama dengan menggabungkan indikator efisiensi boiler, Specific Fuel Consumption (SFC), dan Biaya Pokok Penyediaan (BPP). Kesenjangan tersebut diselesaikan melalui analisis komparatif kondisi coalfiring terhadap cofiring 5% dan 10% pada beban 110 MW menggunakan basis data operasional dan finansial yang seragam. Secara eksplisit, penelitian ini bertujuan: (1) menganalisis perubahan kinerja operasional boiler akibat penambahan sekam padi dan sawdust; (2) membandingkan SFC dan BPP setiap variasi; serta (3) menentukan jenis biomassa dan persentase campuran yang paling optimal secara teknis dan ekonomis pada PT XYZ.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 2. Diagram Alir penelitian

Penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah untuk menentukan fokus kajian, yaitu membandingkan kondisi coalfiring atau penggunaan 100% batubara dengan cofiring yang menggunakan campuran batubara dan biomassa. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh cofiring terhadap kinerja pembangkit dan biaya pembangkitan. Selanjutnya dilakukan studi literatur dan analisis dokumen sebagai dasar teori serta acuan perhitungan. Data yang dikumpulkan meliputi spesifikasi bahan bakar, data operasional pembakaran, energi listrik yang dihasilkan, emisi gas buang, dan residu pembakaran. Data yang diperoleh kemudian diperiksa untuk memastikan kelengkapan dan kesesuaiannya. Apabila data belum sesuai, maka dilakukan pengumpulan data ulang. Setelah data dinyatakan valid, dilakukan pengolahan data melalui perbandingan parameter coalfiring dan cofiring, serta analisis aspek finansial. Hasil pengolahan data kemudian dievaluasi untuk mengetahui perbedaan kinerja teknis, dan biaya pembangkitan. Tahap akhir penelitian adalah penyusunan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan.

2.1 Spesifikasi Lokasi dan Sistem

Lokasi penelitian adalah PLTU di PT. XYZ, sebuah fasilitas pembangkit listrik tenaga uap yang beroperasi di Indonesia. Boiler yang digunakan pada penelitian ini memiliki model YG-120/9.8-M dengan kapasitas maksimum sebesar 380 t/h. Boiler tersebut diproduksi oleh Jian Boiler Group Group Co., Ltd. Parameter operasi utama meliputi tekanan uap superheater sebesar 9,8 MPa, temperatur uap superheater sebesar 580°C, tekanan air umpan sebesar 8,5 MPa, serta temperatur gas buang sebesar 150°C. Spesifikasi lengkap boiler disajikan pada Tabel 1.

Tabel 2. 1 Spesifik lokasi dan sistem

Parameter	Nilai
Lokasi	PT. XYZ, Indonesia
Model	YG-120/9.8-M
Manufacturer	Jian Boiler Group Group Co.,Ltd
Maximum Capacity	380 t/h
Superheated Steam Temperature	9.8 Mpa
Superheated Steam temperature	580 °C
Feed water pressure	8.5 Mpa
Flue gas temperature	150 °C

2.2 Sampel Data Boiler Bomassa dan Batubara

Lima sample coalfiring dan cofiring menggunakan data boiler yang di bandungkan 5% dan 10% pada Tabel 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5.

Tabel 2 .2 Data Sampel Batu bara

Jam	Main Steam Flow (Kg/h)	Main Steam Temp (°C)	Main Steam Press (MPa)	hg(kJ/kg)	Coal Flow (kg/h)	Gross Caloric Value (GCV) (Kj/Kg)	Feed Water Press (MPa)	hf (kJ/kg)	Efesiensi (%)
08:04	337410	530,81	7,29	3482,5	58070	19702,456	7,19	1277,1	65,04
08:35	338120	531,76	7,37	3484	58720	19823,792	7,22	1278,7	64,06
09:05	338050	531,65	7,4	3483,4	58870	19840,528	7,27	1281,2	63,74
09:42	337730	531,16	7,32	3483,1	58330	19731,744	7,25	1280,2	64,64
10:05	337890	531,07	7,33	3482,8	58180	19765,216	7,3	1282,7	64,65
10:39	338240	531,25	7,3	3483,5	58390	19710,824	7,33	1284,2	64,63
11:05	337580	531,9	7,38	3484,2	58630	19794,504	7,32	1283,7	64,01
11:34	337690	531,56	7,36	3483,6	58780	19861,448	7,35	1285,2	63,59
12:07	338030	530,9	7,31	3482,6	57990	19694,088	7,29	1282,2	65,13
avg	337860	531,34	7,34	3483,3	58440	19769,4	7,28	1281,7	64,38

Tabel 2 .3 Data Sampel Sekam padi 5%

Jam	Main Steam Flow (Kg/h)	Main Steam Temp (°C)	Main Steam Press (MPa)	hg(kJ/kg)	Coal Flow (kg/h)	Gross Caloric Value (GCV) (Kj/Kg)	Feed Water Press (MPa)	hf (kJ/kg)	Efesiensi (%)
08:32	358660	529,96	7,4	3479,3	60920	18585,328	7,26	1280,7	69,65
08:33	359530	530,76	7,43	3481	61680	18748,504	7,38	1286,7	68,22
09:03	358840	530,27	7,45	3479,6	61090	18622,984	7,3	1282,7	69,29
09:40	359290	530,92	7,47	3480,9	61510	18715,032	7,39	1287,2	68,47
10:03	358590	530,12	7,48	3478,9	61180	18560,224	7,31	1283,2	69,34
10:37	359360	530,47	7,5	3479,5	61570	18698,296	7,34	1284,7	68,51
11:03	358820	530,44	7,54	3479	61000	18597,88	7,33	1284,2	69,42
11:32	358950	530,05	7,52	3478,3	60990	18648,088	7,29	1282,2	69,31
12:05	359140	530,61	7,53	3479,5	61400	18769,424	7,37	1286,2	68,35
avg	359020	530,4	7,48	3479,6	61260	18660,64	7,33	1284,2	68,95

Tabel 2 .4 Data Sampel Sekam padi 10%

Jam	Main Steam Flow (Kg/h)	Main Steam Temp (°C)	Main Steam Press (MPa)	hg (kJ/kg)	Coal Flow (kg/h)	Gross Caloric Value (GCV) (Kj/Kg)	Feed Water Press (MPa)	hf (kJ/kg)	Efesiensi (%)
09:02	354780	527,52	7,36	3473,9	69700	18689,928	6,5	1241,2	60,81
09:40	355630	528,51	7,47	3475,1	70440	18920,048	6,53	1242,8	59,57
10:03	355130	527,85	7,41	3474,1	70010	18744,32	6,56	1244,4	60,34
10:34	354920	527,78	7,38	3474,3	69860	18635,536	6,6	1246,5	60,73
10:58	355810	528,35	7,51	3474,3	70710	18865,656	6,58	1245,4	59,45
11:20	355340	528,62	7,46	3475,5	70570	18966,072	6,61	1247	59,16
11:56	355660	528,26	7,49	3474,3	70220	18819,632	6,63	1248,1	59,91
12:33	354970	527,97	7,42	3474,3	69780	18765,24	6,62	1247,6	60,36
12:56	355010	527,5	7,37	3473,7	69880	18706,664	6,59	1246	60,50
avg	355250	528,04	7,43	3474,3	70130	18790,344	6,58	1245,4	60,09

Tabel 2 .5 Data Sampel Sawdust 5%

Jam	Main Steam Flow (Kg/h)	Main Steam Temp (°C)	Main Steam Press (MPa)	hg (kJ/kg)	Coal Flow (kg/h)	Gross Caloric Value (GCV) (Kj/Kg)	Feed Water Press (MPa)	hf (kJ/kg)	Efesiensi (%)
07:55	361120	536,23	7,37	3494,8	69560	18367,76	7,24	1279,7	62,61
08:33	362110	536,87	7,48	3495,2	70290	18606,248	7,38	1286,7	61,15
09:06	361560	537,2	7,35	3497,3	69830	18459,808	7,29	1282,2	62,13
09:38	361890	536,17	7,43	3494	70520	18572,776	7,41	1288,2	60,95
10:05	361340	536,78	7,46	3495,2	69920	18405,416	7,31	1283,2	62,11
10:36	362310	536,4	7,38	3495,1	70350	18639,72	7,36	1285,7	61,05
11:02	361760	536,69	7,42	3495,4	69690	18526,752	7,27	1281,2	62,04
11:37	361410	536,26	7,49	3493,6	70110	18434,704	7,34	1284,7	61,77
12:02	361620	536,89	7,31	3497	69730	18463,992	7,28	1281,7	62,22
avg	361680	536,61	7,41	3495,3	70000	18497,464	7,32	1283,7	61,78

Tabel 2 .6 Data Sampel Sawdust 10%

Jam	Main Steam Flow (Kg/h)	Main Steam Temp (°C)	Main Steam Press (MPa)	hg (kJ/kg)	Coal Flow (kg/h)	Gross Caloric Value (GCV) (Kj/Kg)	Feed Water Press (MPa)	hf (kJ/kg)	Efesiensi (%)
09:03	371300	538,12	7,3	3500,1	80210	18016,304	7,24	1279,7	57,05
09:35	371940	539,11	7,4	3501,4	81200	18355,208	7,35	1285,2	55,31
10:08	372270	537,94	7,35	3497,7	80650	18120,904	7,22	1278,7	56,52
10:32	371240	538,59	7,45	3499,7	80980	18305	7,3	1282,7	55,52
10:55	371850	538,33	7,32	3500,4	80430	18150,192	7,33	1284,2	56,45
11:33	371470	538,74	7,41	3500,4	81400	18405,416	7,25	1280,5	55,04
11:57	371760	538,17	7,38	3499,4	80850	18087,432	7,29	1282,2	56,37
12:36	371330	538,45	7,43	3499,5	80500	18233,872	7,36	1285,7	56,00
13:02	371960	538,15	7,29	3500,2	80710	18129,272	7,18	1276,6	56,53
avg	371680	538,4	7,37	3500	80770	18200,4	7,28	1281,7	56,09

2.3 Sampel Data Finansial Coal firing dan Cofiring

Data finansial digunakan untuk membandingkan biaya pembangkitan antara kondisi coal firing dan cofiring. Parameter yang dianalisis meliputi konsumsi bahan bakar, energi listrik yang dihasilkan, harga bahan bakar,

Specific Fuel Consumption (SFC), dan Biaya Pokok Penyediaan (BPP). Nilai SFC digunakan untuk mengetahui efisiensi penggunaan bahan bakar, sedangkan BPP digunakan untuk menilai biaya produksi listrik per kWh. Melalui perbandingan ini, dapat diketahui jenis biomassa dan persentase cofiring yang paling optimal secara teknis dan ekonomis pada PT XYZ Pada Tabel 2.6 dan 2.7.

Tabel 2 .7 Data Finansial Sekam padi

Parameter	Satuan	Coal firing	Cofiring 5%	Cofiring 10%
Data Record	Jam	4	4	4
Pemakaian bahan bakar	ton	205	213	247
Harga Batu Bara	Rp/Kg	1.093		
Harga Sekam padi	Rp/Kg		675	
Enegrgi Listrik Gross	MWh	309,856	317,184	313,6
SFC	Kg/kWh	0,661	0,67	0,788
Biaya Komponen C	Rp/kWh	722,52	718,307	828,345
Penghematan	Rp/kWh		4,213	-105,82

Tabel 2 .8 Data Finansial Sawdust

Parameter	Satuan	Coal firing	Cofiring 5%	Cofiring 10%
Data Record	Jam	4	4	4
Pemakaian bahan bakar	ton	205	213	281
Harga Batu Bara	Rp/Kg	1.093		
Harga Sawdust	Rp/Kg		600	
Enegrgi Listrik Gross	MWh	309,856	315,968	315,456
SFC	Kg/kWh	0,661	0,673	0,889
Biaya Komponen C	Rp/kWh	722,52	719,03	928,15
Penghematan	Rp/kWh		3,48	-205,64

2.4 Metode Evaluasi Kinerja Teknis

Evaluasi kinerja teknis dilakukan dengan membandingkan parameter operasional boiler pada kondisi coalfiring dan cofiring. Parameter yang dianalisis meliputi main steam flow, temperatur dan tekanan uap, konsumsi bahan bakar, nilai kalor bahan bakar, serta efisiensi boiler. Efisiensi boiler dihitung berdasarkan perbandingan energi panas yang dimanfaatkan untuk menghasilkan uap terhadap energi panas dari bahan bakar. Hasil perhitungan kemudian digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan biomassa terhadap performa pembakaran, konsumsi bahan bakar, dan kestabilan operasi boiler, dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{m_s \times (h_g - h_f)}{m_f \times GCV} \times 100\% \quad (1)$$

$$SFC = \frac{m_{bb}}{E} \quad (2)$$

$$BPP = \frac{\text{Total Biaya Operasi}}{\text{Energi Listrik yang Dihasilkan}} \quad (3)$$

Selain itu, evaluasi juga dilakukan melalui perhitungan Specific Fuel Consumption (SFC) dan Biaya Pokok Penyediaan (BPP). SFC digunakan untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang dibutuhkan dalam menghasilkan setiap satuan energi listrik, sedangkan BPP digunakan untuk mengetahui biaya pembangkitan listrik per kWh. Semakin rendah nilai SFC dan BPP, maka semakin efisien dan ekonomis penerapan cofiring tersebut. Hasil evaluasi ini digunakan untuk menentukan jenis biomassa dan persentase cofiring yang paling optimal pada PT XYZ.

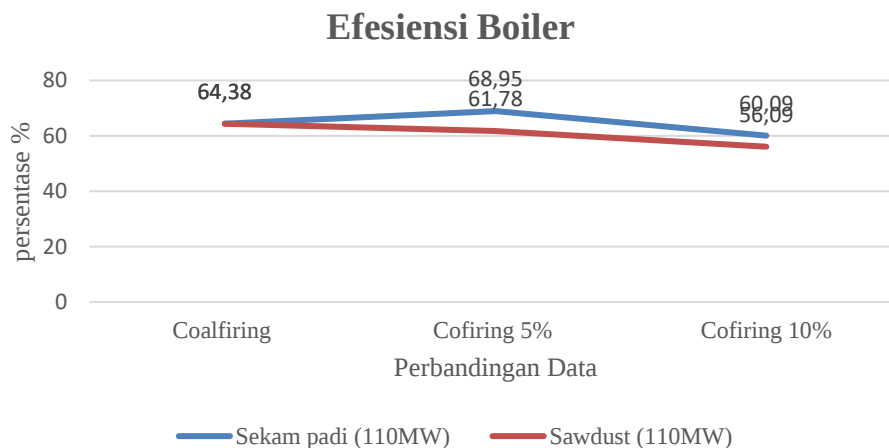
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Efisiensi Boiler

Tabel 3. 1 Perbandingan Efisiensi Boiler

Parameter	Coalfiring	Cofiring 5%	Cofiring 10%
Sekam padi (110MW)	64,38	68,95	60,09
Sawdust (110MW)	64,38	61,78	56,09

Tabel 3.1 menunjukkan perbandingan efisiensi boiler pada kondisi coalfiring dan cofiring menggunakan biomassa sekam padi serta sawdust pada beban 110 MW. Pada kondisi coalfiring, efisiensi boiler sebesar 64,38%. Setelah dilakukan cofiring sekam padi 5%, efisiensi meningkat menjadi 68,95%, sehingga menunjukkan bahwa campuran sekam padi pada persentase rendah mampu memperbaiki kinerja pembakaran boiler. Namun, pada cofiring sekam padi 10%, efisiensi menurun menjadi 60,09%, yang menunjukkan bahwa peningkatan persentase biomassa tidak selalu meningkatkan efisiensi karena dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar seperti nilai kalor, kadar air, dan kadar abu. Pada biomassa sawdust, efisiensi boiler mengalami penurunan dibandingkan coalfiring, yaitu menjadi 61,78% pada cofiring 5% dan 56,09% pada cofiring 10%. Penurunan ini menunjukkan bahwa penggunaan sawdust pada variasi tersebut belum memberikan kinerja pembakaran yang lebih optimal dibandingkan batubara murni. Secara keseluruhan, cofiring sekam padi 5% menghasilkan efisiensi boiler tertinggi, sehingga menjadi variasi yang paling baik dari aspek kinerja teknis boiler pada data ini.

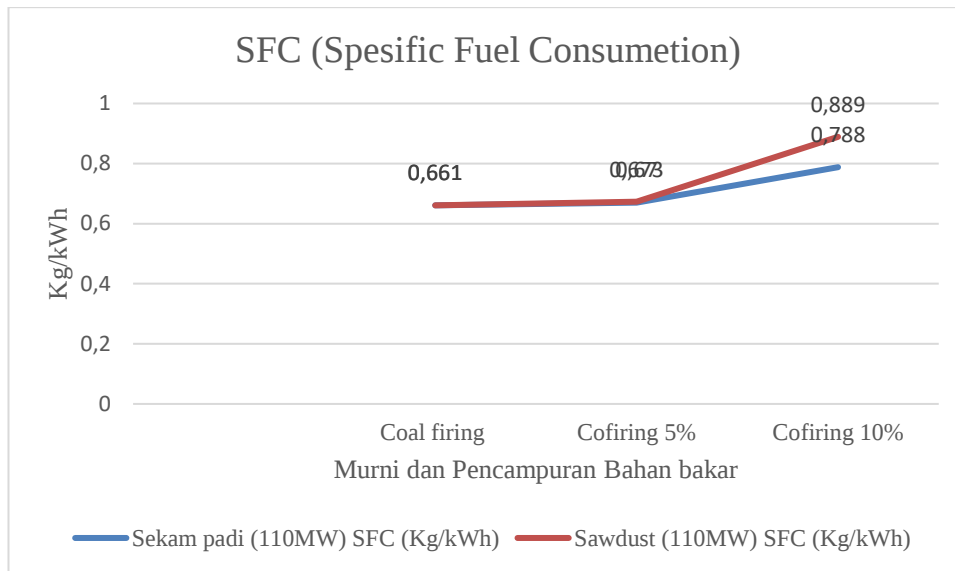


Gambar 3. 1 Persentase Efisiensi Boiler Coalfiring dan Cofiring 5 dan 10%

Gambar 3.1 menunjukkan persentase efisiensi boiler pada kondisi coalfiring dan cofiring dengan variasi campuran biomassa 5% dan 10% pada beban 110 MW. Pada kondisi coalfiring, efisiensi boiler berada pada nilai 64,38%. Setelah dilakukan cofiring sekam padi 5%, efisiensi meningkat menjadi 68,95%, sehingga menunjukkan adanya peningkatan kinerja pembakaran dibandingkan penggunaan batubara murni. Namun, pada cofiring sekam padi 10%, efisiensi menurun menjadi 60,09%. Penurunan ini menunjukkan bahwa

penambahan biomassa dalam jumlah lebih besar tidak selalu meningkatkan efisiensi boiler karena dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar seperti nilai kalor, kadar air, dan kadar abu. Berbeda dengan sekam padi, penggunaan sawdust menunjukkan tren penurunan efisiensi pada setiap peningkatan persentase cofiring. Efisiensi boiler menurun dari 64,38% pada coalfiring menjadi 61,78% pada cofiring 5%, kemudian kembali menurun menjadi 56,09% pada cofiring 10%. Hal ini menunjukkan bahwa sawdust pada variasi tersebut belum mampu memberikan pembakaran yang lebih optimal dibandingkan coalfiring. Secara keseluruhan, cofiring sekam padi 5% menghasilkan efisiensi boiler tertinggi, sehingga menjadi variasi terbaik berdasarkan parameter efisiensi boiler.

3.2 Analisis SFC (Specific Fuel Consumption) Dan BPP (Biaya Pokok Produksi)



Gambar 3. 2 SFC Coalfiring dan Cofiring

Gambar 3.2 menunjukkan perbandingan nilai Specific Fuel Consumption (SFC) pada kondisi coalfiring dan cofiring biomassa sekam padi serta sawdust. Pada coalfiring, nilai SFC sebesar 0,661 kg/kWh. Setelah dilakukan cofiring 5%, SFC mengalami sedikit peningkatan menjadi 0,673 kg/kWh pada sekam padi dan 0,675 kg/kWh pada sawdust. Pada cofiring 10%, SFC meningkat lebih tinggi, yaitu 0,788 kg/kWh untuk sekam padi dan 0,889 kg/kWh untuk sawdust. Kenaikan SFC menunjukkan bahwa semakin besar persentase campuran biomassa, maka konsumsi bahan bakar per kWh listrik juga semakin meningkat. Hal ini disebabkan biomassa umumnya memiliki nilai kalor lebih rendah dibandingkan batubara. Berdasarkan grafik, sekam padi memiliki nilai SFC lebih rendah dibandingkan sawdust, sehingga lebih efisien dari aspek konsumsi bahan bakar.

Tabel 3. 2 Perbandingan SFC dan BPP

Parameter	Satuan	Coal firing	Cofiring 5%	Cofiring 10%
Sekam padi (110MW)	Biaya Komponen C (Rp/kWh)	722,52	718,307	828,345
	Penghematan (Rp/kWh)		4,213	-105,82
Sawdust (110MW)	Biaya Komponen C (Rp/kWh)	722,52	719,03	928,15
	Penghematan (Rp/kWh)		3,48	-205,64

Tabel 3.2 menunjukkan perbandingan Biaya Pokok Penyediaan (BPP) atau biaya komponen C pada kondisi coalfiring dan cofiring 5% serta 10%. Pada kondisi coalfiring, nilai BPP sebesar Rp722,52/kWh. Penggunaan sekam padi pada cofiring 5% mampu menurunkan BPP menjadi Rp718,307/kWh dengan penghematan sebesar

Rp4,213/kWh. Namun, pada cofiring 10%, BPP meningkat menjadi Rp828,345/kWh sehingga terjadi kenaikan biaya sebesar Rp105,82/kWh. Pada biomassa sawdust, cofiring 5% juga memberikan penghematan meskipun relatif kecil, yaitu sebesar Rp3,48/kWh dengan BPP sebesar Rp719,03/kWh. Sementara itu, pada cofiring 10%, BPP meningkat cukup besar menjadi Rp928,15/kWh dengan kenaikan biaya sebesar Rp205,64/kWh. Berdasarkan data tersebut, cofiring 5% lebih ekonomis dibandingkan cofiring 10%, dan sekam padi 5% menjadi variasi yang paling baik karena menghasilkan BPP terendah serta penghematan terbesar

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, penerapan cofiring memberikan pengaruh yang berbeda terhadap efisiensi boiler, SFC, dan BPP. Pada parameter efisiensi boiler, cofiring sekam padi 5% menghasilkan nilai tertinggi sebesar 68,95%, lebih baik dibandingkan coalfiring sebesar 64,38%. Namun, peningkatan campuran biomassa menjadi 10% justru menurunkan efisiensi, baik pada sekam padi maupun sawdust.

Dari aspek konsumsi bahan bakar, nilai SFC meningkat seiring bertambahnya persentase cofiring. Coalfiring memiliki SFC sebesar 0,661 kg/kWh, sedangkan cofiring 10% menghasilkan SFC lebih tinggi, yaitu 0,788 kg/kWh pada sekam padi dan 0,889 kg/kWh pada sawdust. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan biomassa dalam jumlah besar membutuhkan konsumsi bahan bakar lebih banyak untuk menghasilkan energi listrik yang sama.

Dari aspek finansial, cofiring 5% lebih ekonomis dibandingkan cofiring 10%. Sekam padi 5% menghasilkan BPP terendah sebesar Rp718,307/kWh dengan penghematan Rp4,213/kWh, sedangkan sawdust 5% menghasilkan penghematan sebesar Rp3,48/kWh. Sebaliknya, cofiring 10% menyebabkan kenaikan BPP, terutama pada sawdust sebesar Rp928,15/kWh. Dengan demikian, cofiring sekam padi 5% merupakan variasi paling optimal karena mampu meningkatkan efisiensi boiler dan memberikan penghematan biaya pembangkitan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. XYZ atas dukungan teknis dan akses lokasi penelitian, serta kepada Bapak Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T dan Bapak Adi Syuriadi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas bimbingan, masukan, dan arahan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Z. Arifin *et al.*, “Techno-Economic Analysis of Co-firing for Pulverized Coal Boilers Power Plant in Indonesia,” vol. 12, no. 2, pp. 261–269, 2023.
- [2] M. F. Ilham, S. Widodo, and A. Suedy, “Pengaruh Co-Firing Menggunakan Sawdust Terhadap Nilai Heat Rate PLTU,” vol. 3, no. 2, pp. 121–127, 2025, doi: 10.14710/jebt.2022.13828.
- [3] N. Cahyo, D. Sulistiyowati, M. Asdhiyoga, and M. Iqbal, “A techno-economic and environmental analysis of co-firing implementation using coal and wood bark blend at circulating fluidized bed boiler,” vol. 13, no. 4, pp. 726–735, 2025.
- [4] C. V Squire, J. Lou, and T. C. Hilde, “The viability of co- fi ring biomass waste to mitigate coal plant emissions in Indonesia,” *Commun. Earth Environ.*, pp. 1–14, 2024, doi: 10.1038/s43247-024-01588-0.
- [5] I. Febijanto *et al.*, “The environmental perspective on biomass co-firing operations at coal-fired power plants in the Banten region, Indonesia: a life cycle approach,” *Energy, Ecol. Environ.*, vol. 9, no. 4, pp. 439–454, 2024, doi: 10.1007/s40974-024-00329-5.
- [6] M. A. Rahmanta, A. Aprilana, N. Cahyo, T. Winahyu, and D. Hapsari, “Techno-Economic and Environmental Impact of Biomass Co-Firing with Carbon Capture and Storage in Indonesian Power Plants,” 2024.
- [7] M. S. Roni and S. Chowdhury, “Biomass Co-Firing Technology with Policies , Challenges , and Opportunities : A Global Review,” no. 662.
- [8] “Circulating Fluidized Bed Boilers”.
- [9] H. Prayitno, H. Rustamaji, Y. Arafat, and A. Darma, “Thermochemical-Mechanical Assessment of Washed and Torrefied Biomass Co-Firing in Boilers for a Sustainable Energy Transition,” vol. 7, no. 1, pp. 99–116, 2026, doi: 10.46456/jisdep.v7i1.1010.
- [10] M. Soleh, A. H. Ahmad, and F. B. Juangsa, “Impact of different kinds of biomass mixtures on combustion performance , interaction and synergistic effects in cofiring of coal and biomass in steam power plants,” vol. 7, no. 5, pp. 1136–1147, 2023.