

ANALISA IMPLEMENTASI CO-FIRING PADA PLTU SEBALANG 2 X 100 MW

Refginanda Aknur, M.T.¹, Ir. Tajuddin Nur, M.T., Ph.D², Joko Muslim, S.T., M.T., Ph.D³

^{1,2,3} Institut Teknologi PLN, Jakarta Barat, DKI Jakarta, Indonesia

¹refginanda2310564@itpln.ac.id

²tajuddinnur@itpln.ac.id

³jokomuslim@itpln.ac.id

Abstract— The government is currently placing strong emphasis on the use of environmentally friendly energy as part of its efforts to reduce carbon emissions, with a target of achieving net zero emissions by 2060. This commitment aligns with the provisions outlined in the Paris Agreement and the 2025–2034 Electricity Supply Business Plan (RUPTL) of PT PLN (Persero). One of the key strategies being implemented is the use of alternative fuels, aimed at reducing dependence on fossil fuels, which have long dominated the energy sector. To minimize emissions from coal fired power plants, one of the methods that can be applied is cofiring. However, this policy has the potential to affect the performance of existing equipment at power plants, since the equipment was originally designed for coal specifications. This study was conducted to analyze the impact of biomass usage on key equipment at the Sebalang CFPP, which has a capacity of 2 x 100 MW. The simulation was carried out using Aspen Plus V12.1 software with biomass cofiring compositions of 5%, 10%, and 15%, using woodchips as the selected biomass type. The simulation results show that at a 15% biomass cofiring composition, CO₂ emissions decreased by 4,43%, SO_x emissions by 12,45%, NO_x emissions by 18,42%, FGET by 3,5%, and gross power output by 3,7%. The simulation results have been verified as valid against current operational data at 3% cofiring, as well as performance test results for 10% and 20% cofiring conducted by PLN's Research and Development Center, with statistical validation showing an average RMSE of 8,04, MAE of 8,04 and MAPE of 2,37.

Keywords— biomass, cofiring, emissions, PLTU

Intisari— Pemerintah saat ini sangat memfokuskan perhatian pada pemanfaatan energi yang ramah lingkungan sebagai bagian dari upaya untuk mengurangi emisi karbon, dengan target untuk mencapai net zero emission pada tahun 2060, sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam Paris Agreement dan juga sesuai Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (Persero) tahun 2025-2034. Salah satu strategi kunci yang diterapkan adalah penggunaan bahan bakar alternatif, yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang selama ini mendominasi sektor energi. Untuk menekan emisi dari pembangkit listrik tenaga uap berbahan bakar batu bara, salah satu metode yang dapat diterapkan adalah cofiring. Kebijakan ini berpotensi mempengaruhi kinerja peralatan yang ada di pembangkit, mengingat bahwa peralatan tersebut dirancang khusus untuk spesifikasi batu bara. Pada penelitian dilakukan untuk menganalisis dampak penggunaan biomassa terhadap peralatan utama di PLTU Sebalang dengan kapasitas 2 x 100 MW menggunakan software Aspen Plus V12.1 dengan komposisi biomassa sebanyak 5%, 10%, dan 15%, dengan woodchips sebagai

jenis biomassa yang dipilih. Dari hasil simulasi didapatkan pada komposisi cofiring biomassa sebesar 15% emisi CO₂ mengalami penurunan sebesar 4,43%, emisi SO_x turun 12,45%, emisi NO_x turun 18,42%, FGET turun 3,5% dan gross power turun 3,7%. Hasil simulasi sudah terverifikasi valid dengan data operasi PLTU saat ini pada komposisi cofiring 3% dan hasil uji performance cofiring 10% dan 20% oleh PLN Puslitbang dengan uji statistik rata-rata RMSE 8,04 MAE 8,04 dan MAPE 2,37..

Kata Kunci— biomassa, cofiring, emisi, PLTU.

I. PENDAHULUAN

Suhu permukaan Bumi terus meningkat[1], dengan kenaikan sekitar 1°C sejak sebelum revolusi industri hingga 2021[2]. Dampak dari peningkatan suhu ini termasuk kenaikan permukaan air laut, kelangkaan air, dan punahnya spesies. Peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor-sektor seperti energi, pertanian, dan industri menjadi penyebab utama[3]. Menurut proyeksi Kementerian ESDM, sektor energi menyumbang 82% dari total emisi pada tahun 2050, dengan pembangkit listrik berbahan bakar batu bara menjadi kontributor terbesar, mencapai 47%[4].

Untuk mencapai Net Zero Emissions (NZE) pada tahun 2060, pemerintah Indonesia mengeluarkan kebijakan mitigasi, termasuk moratorium pembangunan PLTU batu bara dan pengembangan energi terbarukan[5]. Potensi biomassa di Indonesia mencapai 32,6 GW, namun pemanfaatannya masih terbatas[6].

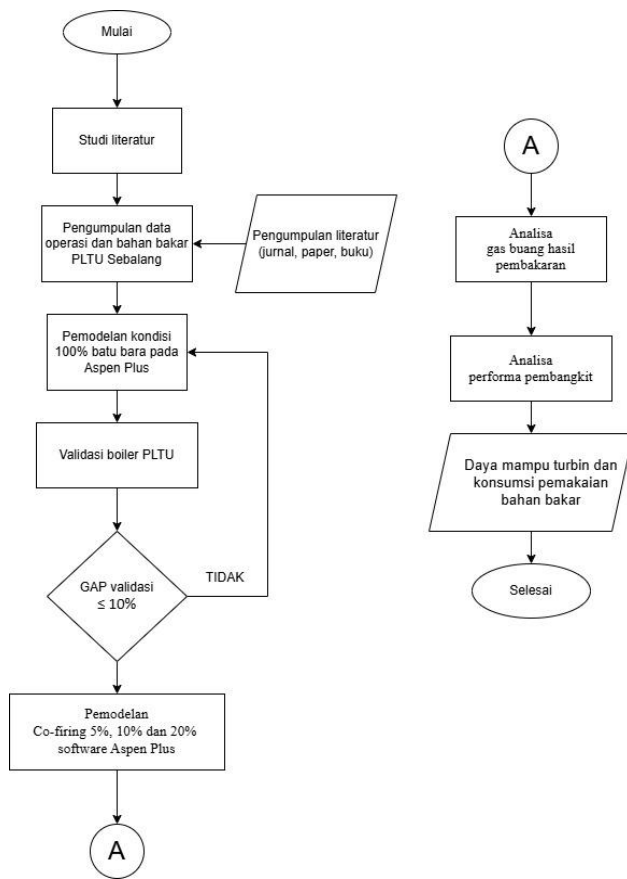
PLTU Sebalang berkapasitas 2x100 MW dan menggunakan batubara kalori rendah, memiliki peluang untuk menerapkan cofiring dengan biomassa woodchips. Penggunaan teknologi boiler Circulating Fluidized Bed (CFB) pada PLTU ini memungkinkan penggunaan bahan bakar yang lebih fleksibel dan efisien, serta dapat membantu mengurangi emisi yang dihasilkan[7].

II. METODE PENELITIAN

A. Desain Penelitian

Studi pustaka dalam penelitian ini melibatkan pengumpulan dan analisis literatur relevan, termasuk buku teks dan jurnal ilmiah, yang memberikan landasan teoritis dan konteks untuk memahami topik tesis. Melalui tinjauan literatur, berbagai konsep, metode, dan temuan sebelumnya diidentifikasi untuk memperkaya pemahaman

masalah yang dihadapi. Diagram alir penelitian bisa di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari pengambilan data langsung di lapangan, mencakup parameter operasi seperti temperatur, tekanan, dan komposisi gas. Proses pengumpulan data dilakukan dengan cermat untuk memastikan akurasi dan keandalan informasi.

Setelah pengumpulan data, analisis dilakukan menggunakan pemodelan simulasi untuk menggambarkan dinamika sistem. Dengan perangkat lunak simulasi, berbagai skenario dieksplorasi untuk memahami operasi sistem di bawah kondisi berbeda.

Tahap penting berikutnya adalah validasi hasil, yang melibatkan perbandingan antara hasil simulasi dan data lapangan. Proses ini memastikan akurasi model dan kesesuaian dengan kondisi nyata, sehingga penelitian ini dapat mencapai tujuannya dalam memberikan pemahaman yang lebih baik tentang sistem yang diteliti serta rekomendasi berbasis data untuk pengembangan lebih lanjut.

B. Metode Analisis Data

Aspen Plus V12.1 adalah perangkat lunak dari Aspen Technology yang memfasilitasi pemodelan dan simulasi proses kompleks, termasuk di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Proses pemodelan dimulai dengan membuka perangkat lunak dan memilih template, lalu mendefinisikan material yang digunakan. Karena batu bara tidak tersedia di basis data, pengguna harus memasukkan

properti secara manual, seperti analisis proksimat, ultimat, kandungan sulfur, dan nilai entalpi.

Setelah mendefinisikan material, pengguna Menyusun flowsheet dengan blok unit operasi dan menentukan kondisi awal seperti temperatur, tekanan, dan laju alir massa. Setelah semua data dimasukkan, simulasi dapat dijalankan, dan hasilnya dapat ditinjau melalui fitur stream summary.

Dalam pemodelan boiler di PLTU Sebalang, parameter kunci diambil dari data lapangan dan informasi desain untuk memastikan akurasi model. Tantangan muncul dalam mendapatkan data laju aliran massa batu bara dan udara, yang divalidasi melalui iterasi untuk memperoleh karakteristik gas buang yang tepat. Setelah validasi, pemodelan turbin uap dilakukan untuk memastikan operasional optimal, memberikan gambaran jelas tentang performa keseluruhan PLTU Sebalang.

C. Parameter Pemodelan dan Validasi

Dalam Aspen Plus V12.1, analisis bahan bakar dilakukan dengan basis "*as received*" yang mencerminkan komposisi dan sifat bahan bakar dalam kondisi nyata tanpa pengeringan atau pengolahan.

Tabel I
Data analisis batu bara dan woodchips[7]

Parameter	Satuan	<i>As Received</i>	
		<i>Coal</i>	<i>Woodchips</i>
Total Moisture	%	34,81	23,89
Proximate			
- Moisture Analysis	%	-	-
- Ash Content	%	4,86	1,16
- Volatile Matter	%	33,24	63,18
- Fixed Carbon	%	27,09	11,77
Total Sulfur	%	0,28	0,04
GCV (kkal/kg)	kkal/kg	4189	3529
Ultimate			
- Carbon	%	42,36	37,51
- Hydrogen	%	3,25	4,57
- Nitrogen	%	0,7	0,36
- Oxygen	%	13,74	32,47

Pendekatan ini penting untuk memahami karakteristik bahan bakar di pembangkit listrik. Data analisis mencakup parameter kunci seperti moisture, yang mempengaruhi nilai kalor dan efisiensi pembakaran, ash content yang berpengaruh pada emisi dan pemeliharaan, serta kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen, yang menentukan nilai kalor dan perilaku pembakaran. Nilai kalor terdiri dari nilai kalor kotor dan bersih, yang menunjukkan energi yang dihasilkan saat pembakaran. Kandungan sulfur dapat menghasilkan emisi SO₂ yang mempengaruhi kualitas udara, sementara kandungan nitrogen, meski rendah, berpotensi membentuk NO_x. Dengan data ini, Aspen Plus V12.1 dapat melakukan simulasi mendalam tentang proses pembakaran dan efisiensi energi di PLTU, memastikan semua variabel yang mempengaruhi performa dan emisi diperhitungkan untuk hasil pemodelan yang akurat.

Tabel II
Parameter Utama Proses Validasi[8]

Parameter	Satuan	Nilai
Coal Flow	t/h	70,68
Air Flow Temp (After Air Heater)	°C	185,53
Feedwater Inlet Economizer	°C	205,00
Feedwater Outlet Economizer	°C	286,06
Furnace Temperature	°C	905,68
O2 Excess	(%)	5,00
Main Steam Pressure	MPa	8,22
Main Steam Temperature	°C	535,93
Feedwater Flow	t/h	335,79
Feedwater Pressure	MPa	9,2
Load Generated	MW	87,14
Flue Gas Temperature (Setelah Air Heater)	°C	180,00

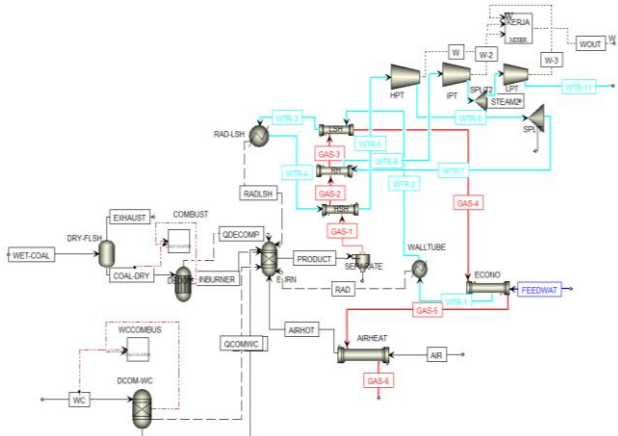
D. Pemodelan Cofiring

Pemodelan cofiring dalam penelitian ini berfokus pada metode direct cofiring, di mana batu bara dan woodchips dibakar bersamaan dalam boiler yang sama. Pendekatan ini memanfaatkan keunggulan kedua bahan bakar, dengan batu bara yang memiliki nilai kalor tinggi dan woodchips yang lebih ramah lingkungan, untuk mengurangi emisi karbon dioksida dan meningkatkan efisiensi pembakaran.

Tabel III
Komposisi laju aliran massa bahan bakar

Parameter	0%	5%	10%	15%
Coal (kg/hr)	70.680	67.146	63.612	60.078
woodchips (kg/hr)	-	3.534	7.068	10.602
Total Fuel (kg/hr)	70.680	70.680	70.680	70.680
Daya (kWh/hr)	87.140	86993	85899	84811
SFC (kg/kWh)	0,811	0,812	0,823	0,833

Berbagai komposisi campuran antara batu bara dan woodchips diuji untuk mengeksplorasi dampak proporsi masing-masing bahan bakar terhadap performa pembakaran. Komposisi yang diuji meliputi 95% batu bara dan 5% woodchips, 90% batu bara dan 10% woodchips, 85% batu bara dan 15% woodchips. Komposisi aliran massa bahan bakar dapat dilihat pada Tabel III.



Gambar 2. Pemodelan cofiring biomassa dan batu bara

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Validasi PLTU Sebalang

Setelah pemodelan selesai menggunakan Aspen Plus V12.1, hasil parameter operasi dibandingkan dengan data aktual dari performance test pada 09 September 2024[8]. Hasil validasi simulasi dengan data aktual dapat dilihat pada Tabel IV.

Tabel IV
Validasi simulasi dengan data aktual

Parameter	Satuan	Perf. Test	Simulasi	Error
Coal Flow	t/h	70,68	70,68	0,00%
Air Flow Temp (After Air Heater)	°C	185,5	174	- 6,21%
Feedwater Inlet Economizer	°C	205	212	3,41%
Feedwater Outlet Economizer	°C	286,1	284	- 0,72%
Furnace Temperature	°C	905,7	855	- 5,60%
O2 Excess	(%)	5	5,2	4,00%
Main Steam Pressure	MPa	8,22	8,2	- 0,24%
Main Steam Temperature	°C	535,9	548	2,25%
Feedwater Flow	t/h	335,8	355,3	5,81%
Feedwater Pressure	MPa	9,2	9,2	0,00%
Load Generated	MW	87,14	88,09	1,09%
Flue Gas Temperature (Setelah Air Heater)	°C	180	185	2,78%

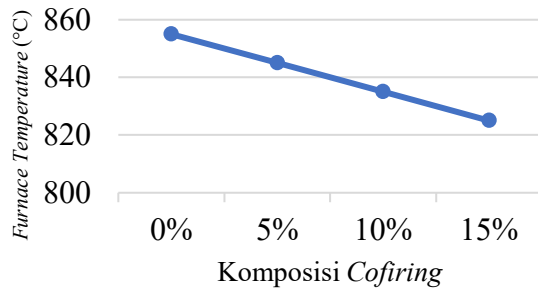
Dari data hasil simulasi bisa dinyatakan valid karena tidak terdapat eror yang lebih dari 10 % jika dibandingkan dengan data acuan.

B. Hasil dan Analisis Karakteristik Gas Buang

Dalam pemodelan, temperatur ruang bakar turun signifikan karena perbedaan gross calorific value antara batu bara (6425 kkal/kg) dan woodchips (4636 kkal/kg). Penambahan woodchips mengurangi total energi pembakaran dan kadar air woodchips (23,89%) lebih rendah dibandingkan batu bara (34,81%), sehingga efisiensi pembakaran menurun karena energi digunakan untuk menguapkan air. Hasil pemodelan menunjukkan penurunan temperatur ruang bakar hingga 3,5% pada proporsi 15% woodchips, yang berdampak pada efisiensi pembakaran dan emisi gas buang. Penurunan temperatur ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Perbedaan komposisi campuran batu bara, biomassa, dan laju alir udara mempengaruhi komponen gas buang selama pembakaran. Variasi proporsi bahan bakar dan kondisi pembakaran mengubah sifat dan konsentrasi gas buang, yang penting untuk efisiensi energi dan dampak lingkungan. Campuran batu bara dan biomassa dalam berbagai rasio memengaruhi laju reaksi, temperatur, dan emisi. Mengatur laju alir udara secara tepat dapat

meningkatkan efisiensi pembakaran dan memengaruhi emisi CO₂, NO_x, dan SO₂. Data laju emisi total gas buang dari berbagai rasio pembakaran terdapat pada Tabel 5 menunjukkan pengaruh kombinasi proporsi bahan bakar terhadap gas buang.



Gambar 3. Temperatur ruang bakar pada kondisi cofiring

Tabel IV
Validasi simulasi dengan data aktual

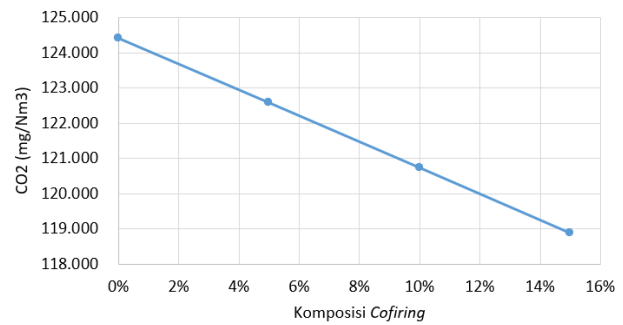
Parameter	Satuan	0%	5%	10%	15%
H ₂	mg/N	51.147,	50.699,	50.251,	49.803,
O	m ³	46	35	25	15
N ₂	mg/N	547.084	547.069	547.053	547.038
	m ³	,29	,07	,81	,50
O ₂	%	5,2	5,48	5,69	5,9
N	mg/N	0,85	0,86	0,86	0,86
O ₂	m ³				
N	mg/N	46,63	43,59	40,65	37,81
O	m ³				
S	mg/N	0	0	0	0
	m ³				
SO ₂	mg/N	404,8	382,37	359,91	337,43
	m ³				
SO ₃	mg/N	55,01	58,14	61,31	64,49
	m ³				
H ₂	mg/N	6,42E-05	4,92E-05	3,76E-05	2,85E-05
	m ³				
CO	mg/N	9,75E-04	7,19E-04	5,27E-04	3,84E-04
	m ³				
CO ₂	mg/N	124.407	122.506	120.605	118.704
	m ³	,71	,57	,43	,29

a. Emisi CO₂

Pada Gambar 4. terlihat konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) menurun seiring peningkatan persentase biomassa dalam campuran bahan bakar. Penurunan signifikan terjadi pada kombinasi 15% biomassa, dengan emisi CO₂ berkurang 4,4% dibandingkan batu bara murni.

Hal ini disebabkan oleh berkurangnya karbon dari batu bara dan siklus karbon yang lebih berkelanjutan pada biomassa. Penambahan biomassa juga meningkatkan efisiensi pembakaran, sehingga mengurangi emisi gas rumah kaca. Ini menunjukkan bahwa cofiring dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi CO₂, menjadikannya strategi efektif

untuk mitigasi perubahan iklim dan mencapai keberlanjutan energi.

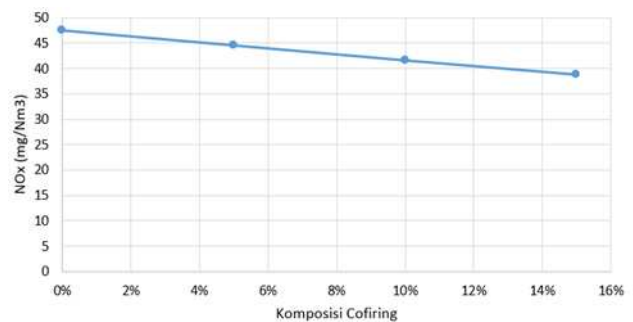


Gambar 4. Konsentrasi gas CO₂ pada cofiring

b. Emisi NO_x

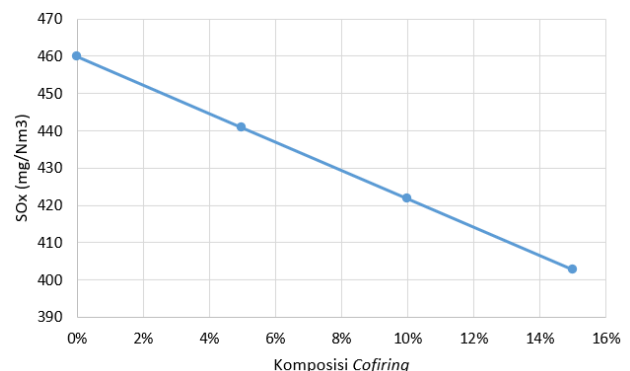
Hasil uji karakteristik bahan bakar dalam Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan nitrogen pada woodchips lebih rendah dibandingkan batu bara, yang berimplikasi pada emisi nitrogen oksida (NO_x) selama pembakaran campuran. Sumber utama emisi NO_x berasal dari nitrogen dalam udara dan dalam bahan bakar itu sendiri. Penurunan temperatur pembakaran menjadi kunci dalam mengurangi emisi NO_x, karena temperatur yang lebih rendah mengurangi laju pembentukan thermal NO_x. Selain itu, rendahnya kandungan nitrogen dalam woodchips juga berkontribusi pada pengurangan fuel NO_x.

Hal ini terlihat jelas pada Gambar 5, di mana emisi NO_x turun sebesar 18,42% pada komposisi cofiring 85% batu bara dan 15% woodchips, menunjukkan bahwa penggunaan biomassa tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan, termasuk emisi gas rumah kaca dan polutan seperti NO_x.



Gambar 5. Kandungan NO_x pada cofiring

c. Emisi SO_x

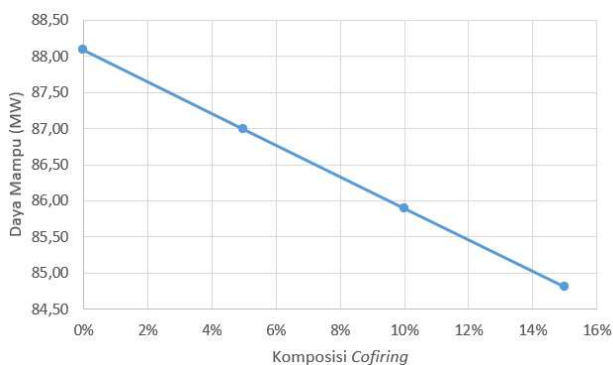


Gambar 6. Kandungan SO_x pada cofiring

Emisi sulfur oksida (SO_x) dalam pembakaran dipengaruhi oleh kandungan sulfur dalam bahan bakar. Peningkatan proporsi biomassa dalam cofiring dengan batu bara mengurangi SO_x, dengan penurunan 12,45% pada komposisi 85% batu bara dan 15% woodchips. Penurunan ini menunjukkan bahwa campuran ini meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi polusi. Gambar 4.4 menunjukkan penurunan konsentrasi SO_x seiring peningkatan biomassa, menegaskan manfaat lingkungan dari cofiring.

C. Daya Mampu

Penurunan temperatur gas pembakaran berdampak pada performa sistem pembangkit listrik, mengurangi tekanan dan temperatur uap utama. Pada komposisi cofiring 15% biomassa, daya turbin berkurang 3,7%, dari 88,9 MW menjadi 84,81 MW. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun biomassa mengurangi emisi, perubahan komposisi bahan bakar dapat menurunkan efisiensi operasional turbin. Gambar 7. menggambarkan penurunan daya pada setiap komposisi cofiring, menekankan pentingnya keseimbangan antara bahan bakar terbarukan dan efisiensi energi.



Gambar 7. Penurunan daya mampu pada cofiring

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan simulasi menggunakan Aspen Plus V12.1 untuk cofiring biomassa di PLTU Sebalang, disimpulkan beberapa poin penting yaitu sebagai berikut :

1. Karakteristik bahan bakar menunjukkan bahwa woodchips memiliki kadar moisture lebih rendah dibandingkan batu bara, yang meningkatkan efisiensi pembakaran dengan mengurangi energi yang diperlukan untuk menguapkan air. Gross Calorific Value (GCV) woodchips lebih rendah, tetapi tetap memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan sumber energi. Selain itu, woodchips mengandung volatile matter yang lebih tinggi, yang dapat meningkatkan reaktivitas dan efisiensi selama proses pembakaran.
2. Simulasi temperatur gas buang menunjukkan penurunan sebesar 3,5% pada komposisi 85% batu bara dan 15% woodchips. Penurunan temperatur ini mengakibatkan pengurangan entalpi uap yang mengalir ke turbin, sehingga daya yang dihasilkan dari turbin berkurang sebesar 3,7%, dari 88,9 MW menjadi 84,81 MW. Ini menunjukkan adanya trade-off antara pengurangan emisi dan output energi.
3. Terjadi penurunan emisi CO₂ sebesar 4,43%, yang mendukung upaya mitigasi perubahan iklim. Emisi

SO_x juga menurun menjadi 12,45% (402,5 mg/Nm³), masih memenuhi batas baku mutu yang ditetapkan oleh KLHK. Selain itu, emisi NO_x turun menjadi 38,73 mg/Nm³, yang juga sesuai dengan standar KLHK, penting untuk mengurangi dampak negatif terhadap kesehatan dan lingkungan.

REFERENSI

- [1] "Perubahan iklim_ suhu global_ NOAA Climate.gov".
- [2] "Perubahan Iklim itu Nyata – BMKG Knowledge Management System".
- [3] Y. Yudiartono, W. Jaka, dan A. Adiarso, "Dekarbonisasi Sektor Ketenagalistrikan Sampai 2050 Dalam Kerangka Kebijakan Energi Nasional," *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 4, no. 2, hlm. 66–82, Sep 2023, doi: 10.14710/jebt.2023.16966.
- [4] Indonesia, "Indonesia Long-Term Strategy for Low Carbon and Climate Resilience 2050 (Indonesia LTS-LCCR 2050)."
- [5] H. T. Paradongan dkk., "Techno-economic feasibility study of solar photovoltaic power plant using RETScreen to achieve Indonesia energy transition," *Heliyon*, vol. 10, no. 7, Apr 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e27680.
- [6] "Kementerian ESDM RI - Berita Unit - Direktorat Jenderal EBTKE - Menteri ESDM_ Bioenergi Salah Satu Andalan Masa Depan".
- [7] "Laporan Pengujian CoFiring PNP Puslitbang 55 PLTU Sebalang_Woodchips_10-20%_rev01".
- [8] "data operasi PLTU Sebalang".