

# Kajian Kinerja Pembangkit dan Emisi Gas Buang dari Kegiatan *Co-Firing* Menggunakan Tongkol Jagung di PLTU Sumbawa Barat

Yunisetya Ariwibawa, I Made Indradjaja Marcus Brunner\*

Sekolah Pasca Sarjana Institut Teknologi PLN, Jakarta

\*Koresponden email: imade.brunner@itpln.ac.id

Diterima: 21 Januari 2025

Disetujui: 17 Februari 2025

## Abstract

Co-firing activities have been implemented at the Sumbawa Barat Power Plant (PLTU), which has a capacity of 2 x 7 MW and is operated by PT PLN UPK Tambora. The power plant uses a stoker type boiler fired with low calorific coal and biomass. The biomass used for co-firing is corn cobs, which are readily available in the vicinity of the power plant. The co-firing process involves combining 3% dried corn cobs with 97% coal. The mixture is first prepared manually at the dry coal site. The mixture is then processed through a crusher to ensure a uniform particle size. Finally, the ground mixture is fed into the boiler room via a coal feeder. Key generator metrics are monitored, including coal flow, total air flow, furnace exit gas temperature, furnace exit pressure, main steam temperature, and main steam pressure. In addition, air quality emissions, specifically the levels of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in the flue gas, are being monitored. The co-firing activity, conducted over a 3-hour period, showed that the operating parameters of the generator did not undergo significant changes and remained suitable for the safe operation of the power plant. In addition, the levels of SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> in the flue gas decreased compared to the use of 100% coal.

**Keywords:** *co-firing; corn cobs; exhaust emissions; carbon reduction, biomass*

## Abstrak

Kegiatan *co-firing* telah dilakukan di PLTU Sumbawa Barat berkapasitas 2x7 MW yang dioperasikan oleh PT PLN UPK Tambora. PLTU ini menggunakan boiler jenis stoker yang memiliki kemampuan untuk menggunakan bahan bakar batu bara dengan kalori rendah dan biomassa. Bahan biomassa yang digunakan untuk *co-firing* ini adalah tongkol jagung yang cukup banyak tersedia di sekitar PLTU. Kegiatan *co-firing* dilakukan mencampurkan tongkol jagung yang telah dikeringkan sebanyak 3% dengan batu bara sebanyak 97%. Pencampuran awal dilakukan secara manual di *dry coal site* dan kemudian dihaluskan di unit *crusher* sebelum dimasukkan ke dalam ruang boiler melalui *coal feeder*. Pemantauan dilakukan terhadap metrik utama pembangkit berupa kuantitas aliran batu bara, aliran udara total, suhu gas keluar tungku (FEGT), tekanan keluar tungku, suhu uap utama, dan tekanan uap utama. Pemantauan kualitas udara emisi juga dilakukan terhadap parameter gas buang SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>. Kegiatan *co-firing* yang dilakukan selama 3 jam, menunjukkan parameter operasi pembangkit tidak mengalami perubahan yang signifikan dan masih aman terhadap pengoperasian PLTU. Tingkat gas buang SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> juga mengalami penurunan dibandingkan dengan penggunaan batu bara 100%.

**Kata Kunci:** *co-firing; tongkol jagung; emisi gas buang; penurunan karbon, biomassa*

## 1. Pendahuluan

Target pemerintah terhadap bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah sebesar 23% yang terbagi menjadi listrik dan non-listrik pada tahun 2025 sesuai Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) [1]. Salah satu inisiatif EBT yang telah dimulai dan diimplementasikan oleh PT PLN (Persero) adalah *co-firing* di beberapa pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) berbahan bakar batu bara. Kegiatan *co-firing* dilakukan melalui pencampuran batu bara dengan bahan bakar padat dari biomassa dalam kombinasi rasio pencampuran tertentu. Kegiatan ini dilakukan guna menurunkan konsumsi batu bara yang digunakan, serta mengurangi emisi karbon dioksida yang berasal dari bahan bakar fosil [2] [3].

Banyak pembangkit listrik berbahan bakar batu bara di Jepang [2] [3], China [4], dan Eropa [5] telah menggunakan bahan bakar alternatif terbarukan guna mengurangi emisi karbon dari bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar berbasis biomassa padat untuk pembangkitan energi listrik di negara anggota IEA (Internasional Energi Agency) cenderung mengalami peningkatan. Sumber energi terbarukan yang dipakai juga berasal dari sampah domestik, biogas dan biofuel [5].

Penggunaan bahan bakar biomassa dapat digunakan pada unit pembangkit eksisting tanpa perubahan yang berarti. Berdasarkan laporan dari NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), metode *co-firing*

sudah diuji dan berhasil digunakan pada beberapa jenis boiler tanpa mengurangi efisiensi total dari boiler, dengan cara mengatur output pembakaran dari campuran batu bara tersebut [6]. Kegiatan uji coba *co-firing* di Indonesia juga telah dilakukan pada lebih dari 30 lokasi pembangkit, namun masih belum dapat dilakukan secara menerus dan tingkat campuran bahan bakar biomassa masih sekitar 5% [7].

Salah satu pembangkit listrik milik PT PLN (Persero) adalah PLTU Sumbawa Barat berkapasitas 2x7 MW yang dioperasikan oleh PT PLN UPK Tambora. Jenis ruang bakar atau boiler dari PLTU Sumbawa Barat adalah *stoker* yang dapat dipasok dengan berbagai jenis bahan bakar padat. Boiler jenis ini umumnya menggunakan bahan bakar padat dalam bentuk bongkahan yang disuplai dari bagian atas ruang bakar. Pembakaran terjadi di dasar ruang bakar pada jeruji yang bergetar atau bergerak. Udara primer untuk pembakaran dipasok dari bawah jeruji yang mengalir ke bagian atas ruang bakar melalui lubang-lubang kecil di jeruji. Abu dasar sebagai sisa pembakaran akan jatuh ke penampungan di bawah jeruji dan sebagian abu terbang akan keluar melalui bagian atas ruang bakar [8]. Bahan bakar yang digunakan pada PLTU tersebut adalah batu bara berkalori rendah dengan nilai kalori sekitar 4.000 kkal/kg. Boiler jenis stoker juga efektif untuk membakar biomassa seperti potongan kayu maupun pelet dari limbah pertanian [8].

Biomassa memiliki potensi energi berkelanjutan terbesar di dunia. Potensi produksi primer tahunan mencapai 4500 EJ (Exajoule), dengan potensi bioenergi sekitar 2900 EJ dan sekitar 270 EJ tersedia secara berkelanjutan [9]. Potensi biomassa di Indonesia mencapai 146,7 ton per tahun, yang dapat digunakan sebagai sumber energi listrik hingga mencapai 24,26 GW [10].

Pelaksanaan *co-firing* batu bara dengan biomassa di berbagai negara di dunia dilakukan sebagai respon atas perubahan iklim dunia. Penelitian yang dilakukan di Jepang menunjukkan bahwa penggunaan biomassa dari kayu selain dapat menurunkan potensi Gas Rumah Kaca dibandingkan dengan pembakaran batu bara [3]. Kegiatan dilakukan umumnya menggunakan metode *direct co-firing* pada boiler eksisting. Metode ini lebih mudah diimplementasikan juga memerlukan investasi peralatan yang minim. Namun demikian, penyediaan dan penyiapan bahan bakar biomassa kerap menjadi kendala dan memerlukan tambahan investasi [11] [12].

Berdasarkan potensi ketersediaan biomassa tongkol jagung di wilayah sekitar PLTU Sumbawa Barat yang melimpah serta jenis boiler yang digunakan, maka biomassa tongkol jagung sangat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan *co-firing*. Artikel ini bertujuan untuk menjelaskan hasil kajian pelaksanaan *co-firing* yang dilakukan di PLTU Sumbawa Barat 2 x 7 MW. *Co-firing* campuran biomassa tongkol jagung dan batu bara dilakukan dengan persentase campuran tertentu. Pengamatan dilakukan untuk mengetahui dampak dari perbedaan jenis campuran dan nilai kalor bahan bakar terhadap parameter utama dan keandalan PLTU. Analisis dilakukan guna memperoleh gambaran umum mengenai kelayakan penerapan *co-firing*, termasuk aspek lingkungan, dan kompleksitas operasional pembangkit.

## 2. Metode Penelitian

Kajian yang dilakukan terhadap tongkol jagung sebagai sumber bahan bakar biomassa adalah: identifikasi lokasi penghasil atau pengumpulan tongkol jagung di sekitar kawasan PLTU; teknis penyiapan tongkol jagung menjadi bahan bakar biomassa; analisis kandungan bahan bakar biomassa; serta teknis pencampuran biomassa dengan batu bara.

Kajian pada unit pembangkit dilakukan terhadap beberapa metrik utama atau titik penting yang diukur, di antaranya; kuantitas aliran batu bara, aliran udara total, suhu gas keluar tungku (FEGT), tekanan keluar tungku, suhu uap utama, dan tekanan uap [13]. Kajian terhadap aspek lingkungan dilakukan dengan pemantauan terhadap emisi gas buang SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> selama kegiatan *co-firing* berlangsung. Pengukuran terhadap emisi gas tersebut dilakukan menggunakan *portable flue gas analyzer* dari MRU Instrument jenis Vario Luxx yang dilengkapi dengan probe untuk pengambilan sampel di lubang sampling cerobong. Alat ini dapat mengukur gas SO<sub>2</sub> antara 0-100 ppm (0-262 mg/Nm<sup>3</sup>) dengan resolusi 0,1 ppm (0,262 mg/Nm<sup>3</sup>) dan gas NO<sub>x</sub> (dalam bentuk NO<sub>2</sub>) antara 0-100 ppm (0-188 mg/Nm<sup>3</sup>) dengan resolusi 0,1 ppm (0,188 mg/Nm<sup>3</sup>) [14].

Kegiatan *co-firing* dilakukan di PLTU Sumbawa Barat selama 2 x 3 jam, yaitu pada pukul 10:00-12:00 di 2 hari yang berbeda. Komposisi bahan bakar pada hari pertama adalah 100% batu bara; hari kedua dilakukan dengan komposisi 97% batu bara dan 3% biomassa tongkol jagung.

Kegiatan *co-firing* ini ditujukan untuk mendapatkan informasi awal terkait kapasitas dan kendala rantai pasok tongkol jagung yang tersedia, kendala dalam pelaksanaan *co-firing* di lokasi, potensi gangguan dari penggunaan bahan bakar biomassa terhadap proses pembakaran di boiler, serta potensi perubahan emisi dari *co-firing*. Dalam hal ini, pelaksanaan *co-firing* dengan komposisi 97% batu bara dan 3% biomassa tongkol jagung didasarkan pada ketersediaan tongkol jagung sekitar 700 kg yang dapat diperoleh untuk kegiatan ini. Pembatasan durasi minimal 3 jam perlu dilakukan guna mendapatkan kestabilan

parameter operasional boiler. Mengingat PLTU dengan kapasitas 7 MW memerlukan bahan bakar batu bara sekitar 180 ton perhari atau sekitar 7,5 ton per jam, maka untuk operasional selama 3 jam diperlukan sekitar 22,5 ton bahan bakar. Ketersediaan 700 kg tongkol jagung untuk 3 jam pembakaran adalah setara dengan  $0,7/22,5 = 3,1\%$ .

Beberapa titik lokasi penghasil atau pengumpulan tongkol jagung di sekitar PLTU, antara lain berada di desa Kertasari, desa Batu Putih dan desa Lamunga. Desa-desa tersebut merupakan penghasil jagung yang unggul mengingat lahan kering yang potensial untuk pertanian jagung. Hasil panen buah jagung perlu dilakukan pemisahan antara biji jagung dan tongkol. Biji jagung pipilan merupakan komoditas yang diperlukan untuk industri makanan, tepung jagung, serta sejenisnya. Tongkol jagung yang selama ini menjadi produk samping dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif. Tongkol setelah bersih dari biji dimasukkan dalam karung 20 kg dan dikirimkan ke PLTU. Setelah terkumpul, tongkol di jemur untuk dikeringkan sebelum dicampur dengan batu bara di dalam *dry coal site*. Secara umum, pengeringan dengan penjemuran di bawah sinar matahari dapat dilakukan selama 3 hari. Hal ini mengingat daerah Sumbawa Barat yang cenderung panas dan kering pada waktu kemarau.

Tongkol jagung kering dan batu bara kemudian ditimbang untuk mendapatkan persentase campuran biomassa : batu bara sebesar 3% berdasarkan ukuran berat. Proses pencampuran tongkol jagung kering dengan batu bara dilakukan di *dry coal site* dengan menggunakan alat berat excavator seperti tampak pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Pencampuran batu bara dan tongkol jagung kering di *dry coal site*

Campuran tongkol jagung kering dan batu bara kemudian dimasukkan ke *coal bunker* melalui *hopper* eksisting. Campuran kemudian masuk ke *crusher* untuk dihancurkan menjadi ukuran yang lebih kecil sesuai dengan spesifikasi bahan bakar padat untuk boiler *stoker* di PLTU Sumbawa Barat. Pada tahap ini, campuran bahan bakar padat sudah siap untuk dimasukkan ke dalam ruang boiler melalui *coal feeder*.

Sampel batu bara, tongkol jagung kering, campuran tongkol jagung kering 3% dan batu bara 97% di *dry coal site* serta di *coal feeder* dilakukan untuk diuji di laboratorium guna dilakukan analisis *proximate*, analisis *ultimate*, analisis abu, suhu fusi abu, dan analisis klorin.

Dengan kondisi pembangkit yang tengah beroperasi dengan 100% batu bara, maka dilakukan pengamatan terhadap parameter operasional. Perlu diyakini bahwa jenis batu bara yang dipakai adalah jenis yang sama dengan saat akan dilakukan uji co-firing. Pengaturan beban diset pada 7,6 MW sebagai faktor pemantauan operasi. Pengukuran dilakukan terhadap parameter utama, yaitu kuantitas aliran batu bara, aliran udara total, suhu gas keluar tungku (FEGT), tekanan keluar tungku, suhu uap utama, dan tekanan uap utama. Data parameter operasional tersebut diperoleh selama 4 jam dengan periode pencatatan setiap 30 menit. Setelah status muatan unit pembangkit stabil, maka perekaman data untuk kondisi pembakaran dengan 100% batu bara dapat dimulai. Perekaman data metrik utama dilakukan selama 3 jam dengan periode pencatatan setiap 30 menit. Selain itu, pada periode 3 jam dilakukan pengukuran terhadap emisi udara terutama untuk parameter gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>.

Keesokan hari, pembangkit yang sedang beroperasi, dipasok dengan campuran biomassa 3%. Pengaturan beban pada beban yang sama yaitu 7,6 MW dan pengamatan terhadap parameter utama juga

dilakukan. Data parameter operasional tersebut diperoleh selama 4 jam dengan periode pencatatan setiap 30 menit. Setelah status muatan unit pembangkit stabil, maka perekaman data untuk kondisi pembakaran dengan campuran biomassa 3%. dapat dimulai. Perekaman data metrik utama dilakukan selama 3 jam dengan periode pencatatan setiap 30 menit. Selain itu, pada periode 3 jam dilakukan pengukuran terhadap emisi udara terutama untuk parameter gas SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>. Setelah kegiatan *co-firing* selesai dilakukan maka pasokan bahan bakar dikembalikan pada kondisi 100% batu bara kembali.

### 3. Hasil Dan Pembahasan Evaluasi Teknis Operasional

Analisis *proximate*, analisis *ultimate*, analisis abu, suhu fusi abu, dan analisis klorin merupakan beberapa studi laboratorium yang diperlukan. Pentingnya dilakukan uji laboratorium terhadap campuran bahan bakar yang digunakan, selain mengetahui nilai kalornya, dapat diketahui zat-zat yang terkandung dalam bahan bakar tersebut dan zat-zat yang terbentuk pada hasil pembakaran sehingga mengakibatkan terbentuknya *slagging*, *fouling* dan aglomerasi serta potensi terjadinya korosi pada boiler.

Pada **Tabel 1** disajikan hasil analisis analisis *proximate*, analisis *ultimate*, analisis abu, suhu fusi abu, dan analisis klorin yang diperoleh dari laboratorium terhadap sampel batu bara, tongkol jagung kering, campuran tongkol jagung kering 3% dan batu bara 97% di *dry coal site* serta di *coal feeder*.

**Tabel 1.** Komparasi karakteristik bahan bakar padat

Parameter	units	COAL				TONGKOL JAGUNG				COAL+3% TONGKOL JAGUNG(coal feeder)				COAL+3% TONGKOL JAGUNG(coal yard)			
		ARB	ADB	DB	DAFB	ARB*	ADB*	DB	DAFB	ARB	ADB	DB	DAFB	ARB	ADB	DB	DAFB
<b>Proximate Analysis</b>																	
Total Moisture	%wt	22,93				10,44				26,63				28,48			
Moisture in analysis sample	%wt		17,87				10,44				18,09				20,23		
Ash content	%wt		4,24				2,66				4,82				3,89		
Volatile Matter	%wt		41,5				69,94				43,58				39,24		
Fixed Carbon	%wt		36,39				16,96				33,51				36,64		
Total Sulfur	%wt		0,72				0,034				0,15				0,72		
GCV	kCal/kg	4454	4747			4016	4016			4224	4716			4305	4802		
<b>Ultimate Analysis</b>																	
Total moisture	%wt	22,93				10,44				26,63				28,48			
Moisture in analysis sample	%wt		17,87				10,44				18,09				20,23		
ash content	%wt		4,24				2,66				4,82				3,89		
carbon	%wt		51,51				43,06				50,36				51,96		
hydrogen	%wt		5,88				6,45				6,22				6,01		
nitrogen	%wt		0,62				0,22				0,46				0,61		
sulfur	%wt		0,72				0,034				0,15				0,72		
oxygen	%wt		37,03				47,58				37,99				36,81		
Chlorine	%wt		0,01				0,32				0,021				0,003		
HGI											48						
<b>Size distribution</b>																	
-75 mm	%wt		100				100				100				100		
-50 mm	%wt		100				100				100				100		
-31,5 mm	%wt		93,58				100				79,12				86,94		
-2,36mm	%wt		27,63				0,52				5,8				22,11		

Sumber: Certificate of Analysis (COA), Laboratorium PT Sucofindo, 2021

Berdasarkan hasil pada **Tabel 1** di atas, sampel tongkol jagung kering memiliki nilai kalor lebih rendah, kandungan *volatile matter* lebih tinggi, kandungan *fixed carbon* lebih rendah, kandungan *moisture* lebih rendah, *ash content* lebih rendah, *sulphur content* lebih rendah, *chlorine* lebih tinggi dari tipikal batu bara di PLTU Sumbawa Barat. Hal ini konsisten dengan kenyataan bahwa bahan bakar biomassa cenderung memiliki kandungan *volatile matter* lebih tinggi daripada *fixed carbon*, sementara batu bara cenderung memiliki nilai *fixed carbon* yang lebih tinggi daripada *volatile matter* [15]. Kandungan *volatile matter* yang menyebabkan biomassa akan lebih cepat terbakar dibandingkan batu bara, sehingga akan membantu mempercepat proses pembakaran di dalam *boiler*. Kandungan sulfur biomassa juga cenderung lebih kecil daripada batu bara [16] [17]. Kandungan klorin dalam biomassa yang relatif lebih tinggi dapat terjadi dari pengaruh penggunaan pupuk yang digunakan dalam perawatan tanaman serta kedekatan dengan laut [18] [19].

Sedangkan sampel campuran batu bara dan 3% tongkol jagung memiliki *total moisture* lebih tinggi dan nilai kalori lebih rendah bila dibandingkan dengan tipikal batu bara PLTU Sumbawa Barat. Tongkol jagung memiliki nilai kalor sampel yang lebih rendah dari batu bara yang digunakan, sehingga kuantitas

tongkol jagung yang digunakan akan lebih banyak daripada kuantitas batu bara yang digantikannya. Permasalahan ini juga dijumpai pada penelitian *co-firing* dengan menggunakan tandan kosong kelapa sawit yang menghendaki jumlah biomassa lebih banyak karena nilai kalori yang lebih rendah daripada batu bara [20]. Penelitian yang dilakukan di China menunjukkan bahwa penggunaan biomassa sebagai bahan bakar alternatif memang dapat menurunkan emisi CO<sub>2</sub> dari bahan bakar fosil namun akan menaikkan biaya karena harga bahan bakar yang relatif lebih mahal [21].

Kandungan sulfur pada sampel tongkol jagung lebih rendah dibandingkan tipikal batu bara yang digunakan di PLTU Sumbawa Barat. Penambahan tongkol jagung pada *co-firing* ini berpotensi menurunkan emisi gas SO<sub>2</sub>. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian lain yang mengatakan bahwa kandungan sulfur dalam bahan bakar padat biomassa yang cenderung rendah [22].

**Tabel 2.** Hasil Analisis Abu Terbang dan Abu Dasar

Ash Analysis	Satuan	Bottom Ash	Fly Ash
CaO	%wt	15.4	18.34
SiO <sub>2</sub>	%wt	40.9	36
MgO	%wt	11.26	3.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wt	15.93	15.12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%wt	11.38	21.37
Na <sub>2</sub> O	%wt	0.8	0.71
K <sub>2</sub> O	%wt	0.84	0.84
TiO <sub>2</sub>	%wt	0.8	0.95
MnO <sub>2</sub>	%wt	0.19	0.69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%wt	0.056	0.13
Unburned carbon	%wt	46.82	22.26

Sumber: Hasil pengamatan kegiatan *co-firing* PLTU Sumbawa Barat

Hasil analisis sampel *fly ash* (abu terbang) dan *bottom ash* (abu dasar) yang diperoleh saat pengujian *co-firing* dengan campuran batu bara dan 3% tongkol jagung, disajikan pada Tabel 2. Kandungan *unburned carbon* pada kedua sampel *ash* masih sangat tinggi, dengan mencapai 46,82% di *bottom ash* dan 22,26% di *fly ash*. Pada kedua sampel *ash* didominasi oleh kandungan SiO<sub>2</sub> mencapai 40,9% pada *bottom ash* dan 36% pada *fly ash*, kemudian disusul kandungan CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Selain itu, *ash fusion temperature* dari sampel campuran batu bara dan tongkol jagung nilainya lebih rendah dari tipikal batu bara PLTU Sumbawa Barat. Hal ini perlu menjadi perhatian dalam pemantauan parameter temperatur fluida pada proses pembakaran di boiler saat operasi dengan menambahkan tongkol jagung pada bahan bakar. Kemungkinan terjadinya slagging dan fouling di bagian dasar boiler. Penelitian dengan menggunakan tandan kosong dan pelepah sawit sebagai bahan bakar biomassa, menunjukkan penurunan timbulan abu sisa pembakaran namun memiliki potensi terjadinya kerak di ruang bakar [23] [24].

**Tabel 3.** Data operasi pengujian batu bara 100% dan *co-firing* 3%

No	Parameter	Satuan	Bahan Bakar							
			Batubara				Co-firing 3%			
			10.00	11.00	12.00	Average	10	11	12	Average
1	Load	MW	7.8	7.7	7.6	7.7	7.9	7.6	7.5	7.7
2	Coal Flow	ton/hr	4.3	4.4	4.7	4.5	3.6	3.7	4.3	3.9
3	FEGT	oC	711	710	715	712	742	734	745	740.3
4	Furnave Outlet press	kPa	12.5	13.8	11.7	12.7	11.8	12	12.7	12.2
5	Total Air Flow	ton/rh	47.6	48	47.5	47.7	48.9	48.7	39.3	49
6	Main Steam Press	Mpa	4.76	4.79	4.77	4.8	4.89	4.94	4.64	4.7
7	Main Steam Temp	oC	490	478	47.7	479.3	476	478	472	476
8	Total Spray Water Flow	ton/hr	4.4	4.4	4.3	4.4	4.2	4.1	4.3	4.2

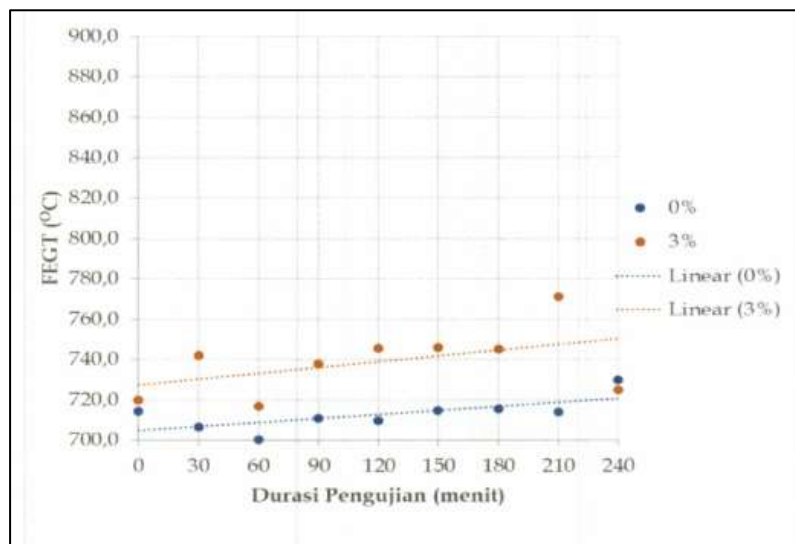
Sumber: Hasil pengamatan kegiatan *co-firing* PLTU Sumbawa Barat

**Tabel 3** merupakan data operasi pengujian dengan batu bara 100% dan *co-firing* 3% biomassa tongkol jagung. Pada pengujian selama 3 jam dengan rata-rata beban yang sama di 7,7 MW terdapat perbedaan parameter yang signifikan yakni *coal flow*, *FEGT* dan *Total Air flow*. Perbedaan *coal flow* di sini menunjukkan anomali, yang kemungkinan diakibatkan karena pencampuran tongkol jagung yang tidak merata atau permasalahan lain. Dengan nilai kalor sampel campuran batu bara dengan 3% tongkol jagung

yang lebih rendah 5,16% dibandingkan nilai kalor batu bara yang digunakan di PLTU Sumbawa Barat seharusnya pada operasi beban yang sama memerlukan *coal flow* yang lebih besar. Penelitian terdahulu dengan sekam padi sebagai bahan bakar PLTU 400 MWe mengakibatkan adanya kenaikan konsumsi bahan bakar sebesar 2,53% dibandingkan dengan penggunaan batu bara [25].

Berdasarkan parameter *Furnace Exit Gas Temperature (FEGT)* dapat dianalisis rata-rata pada pengujian *co-firing* 3% cenderung lebih tinggi sebesar 28°C dibandingkan dengan kondisi operasi menggunakan 100% batu bara. Kenaikan FEGT dapat dikarenakan beban meningkat atau proses pembakaran yang terbawa ke sisi *outlet furnace*. Saat *co-firing* 3% beban sedikit lebih rendah dari operasi 100% batu bara sehingga kenaikan FEGT disebabkan oleh proses pembakaran yang terbawa ke sisi *outlet furnace*. Hal ini didukung pula oleh jumlah udara pembakaran saat *co-firing* 2,7% lebih banyak, sehingga udara pembakaran berlebih akan cenderung membawa bahan bakar yang belum selesai terbakar ke sisi atas *furnace*. Pengamatan terhadap FEGT dari kegiatan *co-firing* disajikan pada **Gambar 2**.

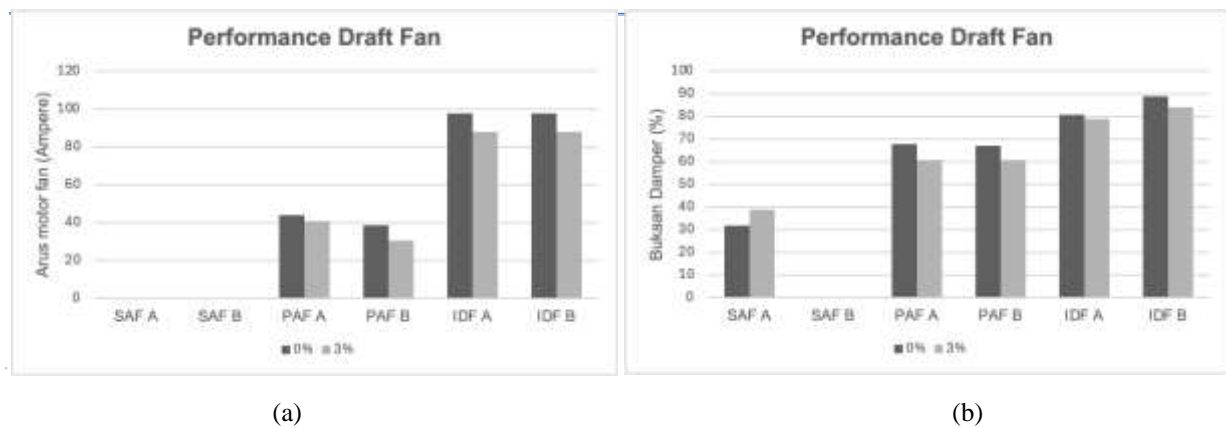
Proses pembakaran di boiler sangat dipengaruhi oleh proses suplai udara pembakaran dan proses hisap gas buang, untuk itu perlu dipantau performance dari setiap *secondary air fan (SAF)*, *primary air fan (PAF)* dan *Induced Draft Fan (IDF)*. Pada **Gambar 3a**, dapat dilihat kerja motor fan berupa arus motor. Untuk motor SAF tidak tersedia alat ukur arus motor. Arus motor PAF dan IDF saat operasi 100% batu bara lebih tinggi dari saat *co-firing* 3%. Pada PAF A memiliki arus motor lebih tinggi daripada PAF B pada kedua kondisi pengujian. Sedangkan pada IDF sisi A dan B besarnya arus motor hampir sama pada kedua kondisi pengujian.



**Gambar 2.** Grafik Pengamatan Operasi FEGT

Sumber: Hasil pengamatan kegiatan *co-firing* PLTU Sumbawa Barat

**Gambar 3b** terkait kondisi bukaan *dampier fan* yang menunjukkan aliran gas buang tidak seimbang antara IDF A dengan IDF B. Sementara pada suplai udara pembakaran oleh PAF seimbang pada kedua sisi, terlihat bukaan *dampier* antara sisi A dan B hampir sama. Sedangkan pada keseimbangan suplai udara pembakaran oleh SAF tidak dapat diketahui, karena alat ukur bukaan *dampier* SAF sisi B terjadi galat. Jika dibandingkan dengan uji *co-firing*, bukaan *dampier* PAF dan IDF saat uji *co-firing* 3% lebih rendah, tetapi sebaliknya bukaan *dampier* SAF lebih tinggi. Perlu dilakukan perbaikan alat ukur bukaan *dampier* SAF B yang mengalami galat akibat ketidakseimbangan suplai udara pembakaran.



(a) (b)  
**Gambar 3.** Grafik Pengamatan Operasi Motor  
Sumber: Hasil pengamatan kegiatan *co-firing* PLTU Sumbawa Barat

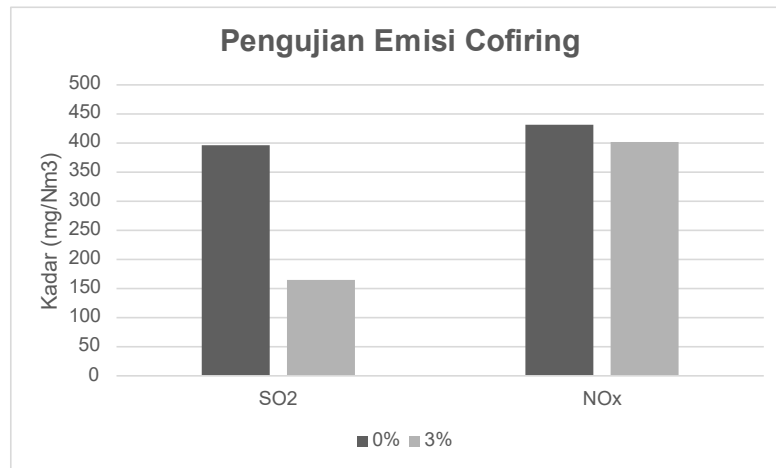
### Evaluasi Lingkungan

Baku mutu emisi PLTU batu bara mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019, Lampiran IA, dengan kandungan emisi Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) sebesar maksimum  $550 \text{ mg/Nm}^3$  dan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) sebesar maksimum  $550 \text{ mg/Nm}^3$ .

**Gambar 4** menunjukkan hasil pemantauan emisi saat pembangkit beroperasi dengan 100% batu bara, diperoleh hasil emisi Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) sebesar  $397,4 \text{ mg/Nm}^3$  dan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) sebesar  $432,8 \text{ mg/Nm}^3$ . Sementara, pada saat *co-firing* dengan campuran 3% tongkol jagung kering, diperoleh emisi Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) sebesar  $165,4 \text{ mg/Nm}^3$  dan Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) sebesar  $401,9 \text{ mg/Nm}^3$ . Hasil pemantauan emisi disajikan pada gambar berikut, dengan kondisi 0% mewakili operasi pembangkit menggunakan 100% batu bara, dan 3% mewakili operasi *co-firing* dengan campuran 3% tongkol jagung.

Berdasarkan hasil pengukuran emisi gas buang diperoleh hasil bahwa *co-firing* dengan 3% tongkol jagung menurunkan emisi  $\text{SO}_2$  dari  $397,4 \text{ mg/Nm}^3$  menjadi  $165,4 \text{ mg/Nm}^3$ , atau turun sekitar 58%. Penurunan ini tidak proporsional terhadap kadar sulfur dalam campuran 3% tongkol jagung. Hal serupa juga diperoleh dalam penelitian yang dilakukan dengan biomassa dari kayu pinus dan batu bara dari Columbia [11]. Penelitian ini menyebutkan bahwa penurunan kandungan  $\text{SO}_2$  selain karena kandungan sulfur yang lebih rendah pada biomassa, juga dapat diakibatkan dari pengikatan  $\text{SO}_2$  oleh alkali seperti kalsium, magnesium, dan kalium yang ada di bahan bakar [11]. Penggunaan bahan bakar biomassa sebagai campuran batu bara dapat menurunkan emisi gas  $\text{SO}_2$  [16] [23], selain berpotensi mengurangi emisi gas  $\text{CO}_2$  dari bahan bakar fosil [20].

Penurunan emisi  $\text{NO}_x$  juga terjadi dari  $432,8 \text{ mg/Nm}^3$  menjadi  $401,9 \text{ mg/Nm}^3$ , atau turun sekitar 7%. Penurunan ini tidak semata-mata karena kandungan nitrogen dalam biomassa yang lebih rendah daripada batu bara, tetapi juga dapat diakibatkan dari suhu ruang bakar yang lebih rendah saat *co-firing* serta kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi pada biomassa [11]. Penelitian terhadap karakteristik emisi  $\text{NO}_x$  dari pembakaran biomassa sekam padi dan serbuk gergaji kayu pinus menunjukkan bahwa komponen emisi dominan adalah gas  $\text{NO}$  dan sedikit  $\text{N}_2\text{O}$  [26]. Emisi  $\text{NO}$  di boiler jenis *Circulating Fluidized Bed* (CFB) dapat diturunkan dengan penambahan kapur, namun pada boiler jenis *Bubbling Fluidized Bed* (BFB) tidak terjadi penurunan [26].



**Gambar 4.** Hasil Pengujian Emisi  
Sumber: Hasil pengamatan kegiatan *co-firing* PLTU Sumbawa Barat

#### 4. Kesimpulan

Kegiatan *co-firing* sampai dengan campuran 3% biomassa tongkol jagung dapat dilakukan dengan aman pada PLTU Sumbawa Barat yang menggunakan *boiler* dengan jenis *stoker*. Hal ini ditunjukkan dengan pemantauan pada parameter operasi yang tidak mengalami perubahan yang signifikan saat kegiatan *co-firing*. Hasil pemantauan terhadap emisi gas buang SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> saat *co-firing* dengan 3% tongkol jagung menunjukkan kecenderungan penurunan konsentrasi gas buang sehingga lebih baik bagi lingkungan.

Peningkatan persentase penggunaan biomassa tongkol jagung pada *co-firing* perlu dilakukan kajian terhadap: tingkat risiko korosi dengan rasio 2S/CI; *slagging* dengan *slagging indeks*; potensi *fouling*; kemampuan unit *boiler* tanpa modifikasi; serta kontinuitas pasokan tongkol jagung. Selain itu perlu dilakukan sistem pencampuran yang lebih baik dan optimal untuk menghindari ketidakseragaman bahan bakar yang masuk ke boiler. Ketidakseragaman pencampuran dapat menyebabkan kesalahan prediksi potensi *slagging*, *fouling* dan korosi di dalam ruangan boiler.

Uji *co-firing* yang dilakukan dengan periode hanya 3 jam memang menunjukkan hasil yang baik. Namun demikian, terdapat parameter ukur, seperti aliran batu bara atau *coal flow* yang menunjukkan anomali. Hal ini dapat diakibatkan karena waktu pelaksanaan *co-firing* yang singkat sehingga belum sepenuhnya menunjukkan perubahan perilaku pembangkit yang sebenarnya. Oleh karena itu, kegiatan *co-firing* perlu dilakukan dalam rentang waktu yang lebih lama dan pengukuran kinerja perlu dilakukan pada kondisi sebelum, saat dan setelah kegiatan *co-firing*.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dinas Lingkungan Hidup Propinsi NTB dan PLN Puslitbang yang telah membantu dalam penelitian ini.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] "Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 22 tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional," Jakarta, 2017.
- [2] T. Furubayashi and T. Nakata, "Cost and CO<sub>2</sub> reduction of biomass co-firing using waste wood biomass in Tohoku region, Japan," *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 1044-1053, 2018.
- [3] T. Tabata, H. Torikai, M. Tsurumaki, Y. Genchi and K. Ukegawa, "Life cycle assessment for co-firing semi-carbonized fuel manufactured using woody biomass with coal: A case study in the central area of Wakayama, Japan," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 15, pp. 2772-2778, 2011.
- [4] H. Wang, Y. Yan, Z. Li, Y. Fu, Z. Zhou and D. Zhao, "Carbon mitigation potential and economic benefits of biomass co-firing in coal-fired power plants: A case study in Nanjing, China," *Energy*, vol. 314, p. 134262, 2025.
- [5] International Energy Agency, "IEA Bioenergy Countries' Report – update 2021, Implementation of bioenergy in the IEA Bioenergy member countries," IEA Bioenergy ExCo, 2021.



- [6] Federal Energy Management Program, "Biomass Cofiring in Coal-Fired Boilers," National Renewable Energy Laboratory, 2004.
- [7] M. Triani, D. D. Anggoro and V. D. Yuniarto, "Potensi dekarbonisasi pembangkit listrik batubara melalui cofiring biomassa dan carbon capture utilization," *Metana: Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*, vol. 20, no. 1, pp. 57-68, 2024.
- [8] K. Ragland and K. Bryden, *Combustion Engineering*, 2nd Ed., Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [9] D. M. Kammen, "Renewable Energy, Taxonomic Overview," in *Encyclopedia of Energy*, Elsevier Science, 2004, pp. 385-412.
- [10] R. P. Primadanty, "Potensi biomassa dalam transisi energi di Indonesia," *Parahyangan Economic Development Review*, vol. 2, no. 2, pp. 136-143, 2023.
- [11] C. Ndibe, S. Grathwohl, M. Paneru, J. Maier and G. Scheffknecht, "Emissions reduction and deposits characteristics during cofiring of high shares of torrefied biomass in a 500 kW pulverized coal furnace," *Fuel*, vol. 156, pp. 177-189, 2015.
- [12] A. Darmawan, D. Budianto, M. Aziz, Tokimatsu and Koji, "Hydrothermally-treated Empty Fruit Bunch Cofiring in Coal Power Plants: A Techno-Economic Assessment," *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 297-302, 2017.
- [13] Guodian Qingshan Co-Generation Co., Ltd., "Operation Manual of 430 t/h Circulating Fluidized Bed (CFB)," 2015.
- [14] MRU Instrument, "VARIO Luxx – Portable Emission Analyzer," [Online]. Available: [https://mru-instruments.com/product/vario-luxx-portable-compliance-emission-analyzer/?srsltid=AfmBOoo\\_q4wNYdTUeDYD4i7v5k1M\\_EpAiuTINuoJitwMb6GQtuEotUCr](https://mru-instruments.com/product/vario-luxx-portable-compliance-emission-analyzer/?srsltid=AfmBOoo_q4wNYdTUeDYD4i7v5k1M_EpAiuTINuoJitwMb6GQtuEotUCr). [Accessed 31 Jan 2025].
- [15] S. Aich, D. Behera, B. Nandi and S. Bhattacharya, "Relationship between proximate analysis parameters and combustion behaviour of high ash Indian coal," *Int. J. Coal Sci. Technol*, vol. 7, no. 4, pp. 766-777, 2020.
- [16] R. Kobylecki, R. Zarzycki, Z. Bis, M. Panowski and M. Winski, "Numerical analysis of the combustion of straw and wood in a stoker boiler with vibrating grate," *Energy*, vol. 222, p. 119948, 2021.
- [17] I. Brunner, A. Noerhidayat and S. M. Brunner, "Pengolahan Sampah Organik dan Limbah Biomassa dengan Teknologi Olah Sampah di Sumbernya," *Serambi Engineering*, vol. VI, no. 3, pp. 2085-2095, 2021.
- [18] L. Baxter, L. Ip, H. Lu and D. Tree, "Distinguishing biomass combustion characteristics and their implications for sustainable energy," in *5th Asia-Pacific Conference on Combustion, The University of Adelaide*, Adelaide, 17-20 July 2005.
- [19] J. Lee, B. Ghiasi, A. Lau and S. Sokhansanj, "Chlorine and ash removal from salt-laden woody biomass by washing and pressing," *Biomass and Bioenergy*, vol. 155, p. 106272, 2021.
- [20] A. A. R. Setiawan, S. S. Munawar, R. Ishizaki, A. S. Putra, R. Ariesca, A. N. Sidiq, K. Siregar, K. Murata, E. I. Wiloso, T. Ahamed and R. Noguchi, "Optimizing biomass supply for cofiring at power plants to minimize environmental impact: A case of oil palm empty fruit bunches in West Java," *Fuel*, vol. 367, p. 131359, 2024.
- [21] H. Wang, Y. Yan, Z. Li, Z. F. Y. Cao and Z. Zhou, "Carbon mitigation potential and economic benefits of biomass co-firing in coal-fired power plants: A case study in Nanjing, China," *Energy*, vol. 314, p. 134262, 2025.
- [22] R. Roy, S. Bandi, X. Li, B. Schooff, R. Kuttler, M. Aichele, S. Montgomery, J. Tuttle, S. J. Smith, J. O. Wendt, B. D. Iverson and A. Fry, "Synergistic reduction of SO<sub>2</sub> emissions while co-firing biomass with coal in pilot-scale (1.5 MWth) and full-scale (471 MWe) combustors," *Fuel*, vol. 358, p. 130191, 2024.
- [23] Y. Wang, B. Liang, Y. Liang, W. Fan, J. Liu, S. Niu and K. Han, "Investigation on the mechanism of ash deposition formation from mineral components and characteristics of ash deposition on boiler heating surface during co-firing of coal and biomass," *Journal of the Energy Institute*, vol. 118, p. 101921, 2025.

- 
- [24] Hariana, Prabowo, E. Hilmawan, F. M. Kuswa, A. Darmawan and M. Aziz, "A comprehensive evaluation of cofiring biomass with coal and slagging-fouling tendency in pulverized coal-fired boilers," *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 14, p. 102001, 2023.
- [25] N. Cahyo, M. Triani, Rasgianti, R. Sitanggang, E. Supriyanto and Paryanto, "Simulasi karakteristik co-firing sekam padi pada PLTU batubara pulverized coal kapasitas 400 MWe," *Rotasi*, vol. 24, no. 2, pp. 43-53, 2022.
- [26] L. Xiaorui, Y. Xudong, X. Guilin and Y. Yiming, "NO emission characteristic during fluidized combustion of biomass with limestone addition," *Fuel*, vol. 291, p. 120264, 2021.