



## **Analisa Karakteristik Pengujian *Co-Firing* Biomassa *Bagasse* Tebu di PLTU Rembang Kapasitas 2×315 MW**

**Riris Destalia<sup>1</sup>, Enny Aryanny<sup>2\*</sup>**

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Surabaya, Indonesia

Email: <sup>1</sup>20032010081@student.upnjatim.ac.id, <sup>2\*</sup>enny.ti@upnjatim.ac.id

### **Abstract**

*Energy utilization in power plants in Indonesia significantly relies on fossil energy sources, especially those obtained from power plants that use coal as the main fuel. The aim of testing co-firing of sugarcane bagasse biomass is to determine the effect of co-firing on the reliability and main parameters of coal-fired power plants and to obtain an overview of the feasibility of implementing co-firing which includes aspects of operational technical evaluation, production cost evaluation and environmental evaluation. The biomass effectiveness test was carried out at PLTU Rembang, with test variables of 100% coal, co-firing test of 1.25% and 2.5% sugarcane bagasse biomass with a maximum operational load of 315 MW for 6 hours. The results of data analysis were carried out descriptively. The tested sugarcane bagasse biomass had a calorific value of 2947 kCal/kg. Meanwhile, the coal used in PLTU Rembang has a calorific value of 4286 kcal/kg. The SO<sub>2</sub> emission test results decreased in the Co-firing test of 1.25% sugarcane bagasse and increased in the Co-firing test of 2.5% sugarcane bagasse compared to the 100% coal test, while the NO<sub>x</sub> emission test results produced during the co-firing test firing 1.25% and 2.5% sugarcane bagasse biomass has a lower value than using 100% coal. The cost of co-firing electricity production from sugarcane bagasse biomass is 1.25% and 2.5% cheaper than the cost of producing 100% coal electricity. To reduce electricity production costs, the sugarcane bagasse biomass co-firing scheme needs to be emphasized by referring to HPT determination in accordance with PLN Perdri No.0004/DIR/2022, so that co-firing electricity production costs can be more economical.*

**Keywords:** Biomass, Co-firing, Calorific Value, Electricity, Rembang Power Plant.

### **Abstrak**

Pemanfaatan energi dalam pembangkit listrik di Indonesia secara signifikan bergantung pada sumber energi fosil, terutama yang diperoleh dari pembangkit listrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. Tujuan dari pengujian *co-firing* biomassa *bagasse* tebu adalah untuk mengetahui pengaruh *co-firing* pada keandalan dan parameter utama PLTU Batubara serta mendapatkan gambaran kelayakan implementasi *Co-firing* yang meliputi aspek evaluasi teknis operasional, evaluasi biaya produksi, dan evaluasi lingkungan. Uji efektifitas biomassa dilakukan di PLTU Rembang, dengan variabel pengujian 100% Batubara, pengujian *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% dan 2,5% dengan beban maksimum operasional 315 MW selama 6 jam. Hasil analisis data dilakukan secara deskriptif. Biomassa *bagasse* tebu yang diuji mempunyai nilai kalor sebesar 2947 kCal/kg. Sedangkan batubara yang digunakan di PLTU Rembang mempunyai nilai kalor sebesar 4286 kcal/kg. Hasil uji emisi SO<sub>2</sub> mengalami penurunan pada pengujian *Co-firing* 1,25% *bagasse* tebu dan mengalami kenaikan pada pengujian *Co-firing* 2,5% *bagasse* tebu dibanding pada saat pengujian 100% batubara sedangkan untuk hasil uji emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan saat ujicoba *co-firing* 1,25% dan 2,5% biomassa *bagasse* tebu memiliki nilai yang lebih rendah dibanding penggunaan 100% Batubara. Biaya produksi listrik *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% dan 2,5% lebih murah dari biaya produksi listrik 100% batubara. Untuk menekan biaya produksi listrik *skema co-firing* biomassa *bagasse* tebu perlu dilakukan penekanan dengan mengacu pada penentuan HPT sesuai Perdri PLN No.0004/DIR/2022, sehingga biaya produksi listrik *co-firing* dapat lebih ekonomis.

**Kata Kunci:** Biomassa, Co-firing, Nilai Kalor, Listrik, PLTU Rembang.

## 1. PENDAHULUAN

PT PLN Nusantara Power (PLN NP) merupakan salah satu *sub-holding* dari PT PLN (Perseo) yang mengoperasikan pembangkit listrik dan memiliki personel yang memumpuni (dengan kualitas teknis bersertifikat sesuai standar dan kualifikasi internasional) dalam memberikan pelayanan jasa O&M dan kemampuan finansial yang memadai untuk mendapatkan keuntungan dan pengembangan peluang bisnis ini (Priyono, 2023). Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan pemanfaatan bahan bakar dari biomassa bagasse tebu melalui teknologi *co-firing*. Sehubungan dengan telah beroperasinya beberapa PLTU di Indonesia, dimana PLTU tersebut berfungsi untuk menyuplai sistem kelistrikan yang ada, maka untuk meminimalisir dampak lingkungan akibat emisi yang dibangkitkan, PLN membuat program yang memiliki dampak lingkungan yaitu implementasi teknologi *co-firing*. Dalam proses penyediaan tenaga listrik terdapat masalah-masalah yang muncul dilapangan dan adanya tuntutan pemerintah melalui regulasi terhadap penyediaan tenaga listrik yang dibangkitkan, khususnya besaran nilai emisi suatu pembangkit PLTU. Oleh karena itu perlu adanya inovasi teknologi untuk meminimalisir besaran nilai emisi yang dibangkitkan sehingga lebih ramah lingkungan (Ariyanto & Mustakim, 2023).

*Co-firing* biasa dikenal dengan *co-combustion* yang bermakna suatu proses pembakaran dua jenis bahan bakar yang berbeda dalam satu perangkat pembakaran yang sama, biasanya digunakan pada *boiler*. (Arief Hakim & Tony Suryo Utomo, 2023). Rencana *co-firing* biomassa yang diajukan akan membutuhkan tidak kurang dari penciptaan industri biomassa skala besar. Dalam menyediakan pasokan bahan bakar *co-firing* yang stabil di setiap lokasi PLTU dibutuhkan biomassa sebesar 10 juta ton per tahun. Bahan baku biomassa dari produk pertanian yang melimpah dapat diproduksi melalui berbagai proses hingga menjadi produk biomassa. Hasil dari proses pengolahan biomassa dapat digunakan secara langsung untuk menghasilkan panas dan energi listrik. Selain itu, juga dapat digunakan sebagai bahan bakar gas, cair dan pada. (Mujiono & Akbar, 2023). Sementara *co-firing* pada rasio yang lebih tinggi lebih dari 50% (berdasarkan energi) secara teknis layak, namun saat ini operasi *co-firing* lebih sering dilakukan di bawah rasio 5% secara berkelanjutan (KESDM, 2021).

Implementasi *co-firing* rasio yang lebih tinggi memerlukan biaya potensial yang secara inheren spesifik perlokasi. Jumlah investasi modal yang diperlukan tergantung pada jenis dan rasio biomassa, metode *co-firing* yang direncanakan, dan kondisi PLTU tertentu. Modifikasi sistem *handling* dan penyimpanan bahan bakar berpotensi diperlukan mengingat sifat biomassa yang berbeda, meskipun modifikasi pembangkit listrik yang lebih besar mungkin tidak diperlukan jika rasio *co-firing* dibatasi pada tingkat yang rendah. Sifat biomassa yang berbeda seperti ukuran partikel, persyaratan penyimpanan, sifat kimia, dan kandungan kalori semuanya perlu dipertimbangkan saat mengevaluasi implementasi *co-firing*. Tujuan *co-firing* adalah untuk mengurangi pemakaian batubara dengan bahan bakar energi terbarukan dalam perbandingan tertentu dengan tetap mempertimbangkan kualitas bahan bakar sesuai keperluan. Selain itu diharapkan dengan adanya implementasi *co-firing* pada PLTU, emisi yang dihasilkan oleh pembangkit dapat diturunkan sehingga lebih ramah lingkungan (Palupi et al., 2024). Pemakaian energi untuk pembangkit listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil, seperti batubara, minyak bumi dan gas. Berdasarkan data RUPTL 2021–2030, sebagian besar kebutuhan listrik di Indonesia dipasok oleh pembangkit listrik bahan bakar fosil, yaitu sebesar 41.886 MW atau sebesar 88,94% dari total pasokan listrik (Erlangga et al., 2023).

Data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Indonesia menunjukkan konsumsi listrik nasional mencapai 242,6 TWh pada Tahun 2020, kapasitas pembangkit listrik mencapai 72.750,72 MW meningkat dari tahun sebelumnya yaitu 69.678,85 MW. Untuk mengatasi ketetapan tersebut, diaplikasikan metode *co-firing* sebagai salah satu gagasan EBT PLN dalam rangka pengurangan emisi dengan substitusi parsial biomassa ke dalam *boiler* PLTU batubara. Biomassa yang berpeluang sebagai bahan bakar untuk pembangkit listrik untuk substitusi parsial pada *co-firing* PLTU batubara diantaranya limbah kelapa sawit seperti cangkang sawit, tandan kosong atau *Empty Fruit Bunch* (EFB), *bagasse* tebu, dan limbah batang kayu (*woodchip*) (Tanbar et al., 2021). Bahan bakar *co-firing* biomassa dapat berasal dari potongan kayu, reruntuhan pohon, *bagasse* tebu, beberapa jenis limbah tertentu, ataupun sampah yang sudah diolah dengan prosentase campuran sebesar 1% hingga 5% (Cahyo et al., 2021). Sejauh ini substitusi bahan bakar alternatif dalam sistem *co-firing* sebanyak 3% hingga 10%, semakin tinggi komposisi bahan bakar alternatif berarti semakin rendah gas rumah kaca yang dihasilkan. Biomasa juga mengandung lebih sedikit sulfur jika dibandingkan dengan batubara. Oleh karena itu, *co-firing* batubara dan biomasa berpotensi menurunkan emisi (Aditya et al., 2022).

PLTU Rembang kapasitas 2x315 MW di Rembang, Jawa Tengah, merupakan salah satu pembangkit yang dimiliki dan dikelola oleh PT. PLN Nusantara Power yang menggunakan bahan bakar batubara kalori rendah atau *low rank coal* dengan nilai kalor sekitar  $\pm 4200$  kCal/kg. Karakteristik dari batubara *low rank* adalah memiliki kandungan sulfur yang tinggi dan berdampak negatif pada peralatan terutama pada *tube boiler*. *Boiler* yang digunakan pada PLTU UP Rembang adalah jenis *Pulverized Coal* (PC), *boiler* jenis ini memiliki keunggulan antara lain efisiensi pembakaran yang tinggi, penyerapan sulfur yang efisien, emisi SO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub> yang rendah, dan kebutuhan *excess air* yang cukup rendah. Dengan pengalaman uji *co-firing* di PLTU UP Rembang sebelumnya yaitu dengan menggunakan *sawdust* dan hasilnya cukup baik, maka uji *co-firing* dengan *bagasse* ini memungkinkan untuk dilakukan. Tujuan dari pengujian yang dilakukan pada PLTU Rembang 2x315 MW dengan persentase campuran Bahan Bakar Biomassa, jenis, dan nilai kalor tertentu adalah untuk mengetahui pengaruh *co-firing* pada keandalan dan parameter utama PLTU Batubara serta mendapatkan gambaran kelayakan implementasi *Co-firing* yang meliputi aspek evaluasi teknis operasional, evaluasi biaya produksi, dan evaluasi lingkungan.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian uji coba efektivitas biomassa *bagasse* tebu dilakukan di PLTU Rembang kapasitas 2 x 315 MW Unit 10 (#2) dengan komposisi pencampuran *co-firing* untuk *bagasse* tebu dengan batubara sebesar 1,25% - 98,75% dan 2,5% - 97,5%. Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukan pengamatan parameter operasi pada saat kondisi dilakukan uji *co-firing bagasse* tebu dan pada saat kondisi unit operasi dengan 100% batubara. Metode penelitian mengacu pada metode eksperimental yaitu dengan uji coba *co-firing* di PLTU Rembang 2 x 315 MW dengan penetapan penelitian sebagai berikut:

#### Objek Penelitian

- *Bagasse* Tebu
- *Boiler* (mesin pembakaran pembangkit listrik)

## Variabel Penelitian

### 1. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang menjadi sebab perubahan variabel terikat, variabel bebas pada penelitian ini yaitu:

- Pengujian 100% Batubara
- Pengujian *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% - 98,75% Batubara
- Pengujian *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 2,5% - 97,5% Batubara

Dengan kebutuhan Batubara dan biomassa pada penelitian sebagai berikut :

Tabel 1. Kebutuhan Batubara dan Biomassa untuk Pengujian *Co-Firing*

	Skenario <i>Co-Firing</i> (% Biomassa)	Durasi (Jam)	Biomassa (ton)	Batubara (ton)	Total (ton)
1	0% Bio 100% Batubara (Coal Flow = ±190 t/jam)	6	0	1140	1140
2	1.25% Bio 98.75% Batubara	6	15	1125	1140
3	2.5% Bio 97.5% Batubara	6	30	1110	1140
	<b>Jumlah</b>		<b>45</b>	<b>3375</b>	<b>3420</b>

### 2. Variabel kontrol

Variabel kontrol berupa variabel yang dikendalikan, pengaruh variabel ini tidak dipengaruhi faktor luar lain, variabel kontrol pada penelitian ini yaitu:

- Kondisi operasional *co-firing* dengan beban maksimum ± 315 MW selama 6 jam
- Uji karakteristik (nilai kalor, kadar air, kadar abu, *volatile matter*, abu *slagging*, dan kandungan sulfur)

### 3. Variabel terikat

Variabel terikat ialah variabel yang dipengaruhi adanya variabel bebas, variabel terikat pada penelitian ini:

- Nilai kalori *co-firing* biomassa *bagasse* tebu dibandingkan dengan batubara
- Nilai emisi pengujian 100% batubara, pengujian *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% dan 2,5%
- Nilai ekonomi pengujian 100% batubara, pengujian *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% dan 2,5%

## Prosedur Penelitian

Survey biomassa *bagasse*, yang merupakan produk sampingan dari produksi gula, telah dilakukan di Provinsi Jawa Tengah, khususnya di sekitar Rembang, mengingat potensi *bagasse* yang besar di wilayah tersebut. Kegiatan ini bertujuan untuk mengevaluasi kemungkinan penggunaannya dalam uji *co-firing* di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Rembang. Salah satu perusahaan yang terlibat dalam survei ini adalah PT Utama Neo Futura, yang berfokus pada penyediaan biomassa *bagasse* untuk keperluan *co-firing*. Berdasarkan hasil survei yang dilaksanakan oleh PT PLN Nusantara Power UP Rembang dan PT PLN Energi Primer Indonesia, biomassa *bagasse* yang disediakan oleh PT Utama Neo Futura menunjukkan potensi sebagai alternatif yang layak untuk diimplementasikan dalam proses *co-firing* di PLTU Rembang. Dalam pembahasan terakhir rencana pelaksanaan uji coba *co-firing* yang dilakukan internal oleh UP Rembang pada tanggal 06 November 2023, diputuskan untuk melakukan uji coba *co-firing* PLTU Rembang Unit 10 (#2).

Uji coba *co-firing* PLTU Rembang Unit 10 (#2) dilakukan dengan menggunakan biomassa *bagasse*, dengan persentase campuran *bagasse* sebesar 1,25% dan 2,5% dari total *coal flow* ±190 ton/jam (beban 300 MW), dengan durasi pengujian 6 jam. Total pengambilan data sebanyak 4 jam. Sehingga total kebutuhan *bagasse* untuk uji coba *co-firing* PLTU Rembang adalah minimal 15 ton (1,25% *bagasse*) dan 30 ton (2,5% *bagasse*). *Bagasse* dikirim dari supplier dengan metode *trucking* ke PLTU Rembang yang kemudian di-*unloading* dan disimpan di area *coal yard*. Persiapan biomassa *mixing* antara biomassa dan batubara dilakukan di *coal yard*. *Coal yard* di PLTU Rembang cukup terlindungi dari hujan dan cuaca dikarenakan terdapat *coal shelter / coal dome*. Biomassa *mixing* dicampur dengan bantuan alat berat (*excavator*) untuk mendapatkan campuran yang cukup rata dari ujung jalur transport (*coal yard*). Biomassa *bagasse* yang didapat kemudian dikondisikan di *coal yard* PLTU Rembang. Harga dari *bagasse* tersebut hingga sampai ke PLTU Rembang bernilai Rp 567,82 per kilogram. Biomassa *handling* dilakukan dengan menggunakan alat berat eksisting untuk melakukan penataan *bagasse* di *coal yard*. Penimbangan dilakukan dengan prosentase yang telah ditentukan dilakukan, setelah melakukan penimbangan dengan *bucket excavator*. Proses pencampuran (*mixing*) *bagasse* dengan batubara dilakukan di area *coal yard* dengan menggunakan alat berat *excavator*. Campuran *bagasse* – batubara (sesuai prosentase pengujian) masuk ke *coal bunker*.

Untuk perbandingan data secara aktual, dilakukan pengamatan parameter operasi pada kondisi saat dilakukan uji *co-firing* dan pada saat kondisi unit operasi dengan 100% batubara, dengan menggunakan jenis batubara yang sama dengan yang digunakan pada saat uji *co-firing* biomassa. Uji coba *Co-firing* 1,25% dan 2,5% dengan *bagasse* pada PLTU Rembang dilakukan pada tanggal 7-9 November 2023. Monitoring operasi dilakukan pada *setting* beban 300 MW. Parameter utama atau *critical point* yang diamati, yaitu: *Load, coal-biomass flow, total air flow, furnace exit gas temperature (FEGT), mill outlet temperature, main steam temperature, main steam pressure, air pre-heater A outlet gas temperature, air pre-heater B outlet gas temperature, SH Spray Flow, dan RH Spray Flow*. Pengambilan data parameter operasi dilakukan selama 4 jam dengan interval pencatatan setiap 30 menit. Pencatatan dimulai setelah kondisi beban unit stabil/ fase stabilisasi.

Untuk mendapatkan parameter *performance* dilakukan perhitungan *Specific Fuel Consumption* (SFC) menggunakan metode energi input – energi output dimana produksi energi listrik gross diambil dari pencatatan *totalizer counter* pada kWh meter dan konsumsi bahan bakar diambil dari data pencatatan *totalizer* pada semua *coal feeder* yang beroperasi.

*Specific Fuel Consumption* (SFC) didapat dengan rumus:

$$SFC = \frac{\text{total fuel}}{\text{kWh terbangkit}}$$

Dimana :

SFC : *Specific Fuel Consumption* [kg/kWh]  
 Total fuel : Total Konsumsi Bahan Bakar [kg]  
 kWh terbangkit : Total energi listrik yang dihasilkan [kWh]

Sementara Biaya Produksi (komponen C) diperoleh dengan rumus:

$$\text{Biaya Produksi} = \text{Harga BB} \times \text{SFC}$$

Dimana :

Biaya Produksi : Biaya Komponen C Pembangkit [Rp/kWh]  
 Harga BB : Harga Bahan Bakar [Rp/kg]  
 SFC : *Specific Fuel Consumption* [kg/kWh]

Analisa biaya produksi (komponen C) dilakukan dengan menggunakan data *performance* SFC pada beban maksimum (300 MW Gross) ditambahkan dengan harga bahan bakar baik batubara maupun *bagasse* yang digunakan pada pengujian *co-firing* di PLTU Rembang. Analisa data menggunakan metode deskriptif dengan menyajikan hasil penelitian dalam bentuk tabel, grafik dengan penjelasan yang mudah dipahami dan dimengerti. Fokus analisis data yaitu efektivitas penggunaan biomassa *bagasse* tebu pada proses *co-firing* di PLTU Rembang, khususnya emisi yang dihasilkan pada lingkungan serta efisiensi biaya yang didapatkan dari penggunaan *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% dan 2,5%.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Nilai Kalor dan Uji Karakteristik

Karakteristik dari Batubara di PLTU Rembang, biomassa *bagasse* tebu disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Komparasi Karakteristik Batubara dengan Biomassa *Bagasse* Tebu

Parameter	Unit (Ar)	Batubara	Bagasse Tebu
<b>Ultimate Analysis</b>			
Carbon	%	45,62	26,46
Hydrogen	%	3,08	3,22
Nitrogen	%	0,69	0,02
Sulphur	%	0,14	0,08
Oxygen	%	11,72	24,10
<b>Proximate Analysis</b>			
Total Moisture	%	35,52	38,25
Ash Content	%	3,22	2,41
Volatile Matter	%	32,25	46,48
Fixed Carbon	%	29,0	7,40
Total Sulphur	%	0,14	0,08
Gross Calorific Value	kCal/kg	4286	2947
Hargrove Grindability Index	-	-	-
Bulk Density	kg/m <sup>3</sup>	-	-

Tabel 2 menunjukkan hasil uji *proximate analysis* biomassa *bagasse* tebu memiliki nilai kalori / GCV (*gross calorific value*) di bawah dengan nilai kalor batubara yang digunakan selama pengujian di PLTU Rembang. Sedangkan *volatile matter* mempunyai nilai yang lebih tinggi sehingga *bagasse* tebu berpotensi terbakar lebih cepat dari batubara. Nilai kalori / GCV (*gross calorific value*) biomassa *bagasse* tebu lebih kecil dibanding batubara. Selain *volatile matter*, untuk karakteristik lain dari *proximate analysis* seperti *total moisture* *bagasse* tebu yang lebih tinggi daripada batubara, tetapi untuk nilai *ash content*, *fixed carbon*, dan *total sulphur* *bagasse* tebu dari karakteristik batubara.

Hasil uji karakteristik *proximate analysis* pada Tabel 2, biomassa menunjukkan nilai kadar kalori yang lebih rendah dengan batubara *low rank* yang digunakan di PLTU Rembang. Melalui uji karakteristik ini biomassa *bagasse* tebu unggul dalam proses pembakaran karena kandungan *volatile matter* yang lebih tinggi, serta menyisakan sisa abu atau *ash content* yang lebih sedikit dari batubara di PLTU Rembang.

Tabel 3. Hasil Pengamatan Pengujian Operasional Menggunakan Bahan Bakar 100% Batubara

No	Parameter	Batasan Operasi	Satuan	7 November 2023								
				11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
1	Load	<330	MW	298.17	296.51	299.93	301.37	301.92	301.88	302.57	302.16	302.38
2	Total Air Flow	±1400	t/h	1084.56	1096.20	1093.05	1076.00	1084.71	1085.79	1091.85	1082.55	1076.89
3	Total Coal	180-210	t/h	188.16	187.45	187.05	187.05	187.76	187.96	187.54	187.37	189.10
4	Main Steam Pressure	<19.6	MPa	15.34	15.31	15.43	15.58	15.47	15.40	15.49	15.49	15.40
5	Main Steam Temperature	538-548	°C	525.46	525.46	531.47	531.47	531.47	531.47	531.47	531.47	531.47
6	Gas Inlet Temperature AH A	408	°C	374.23	375.03	375.84	376.65	376.65	376.65	377.45	377.45	378.25
7	Gas Inlet Temperature AH B	408	°C	371.26	371.26	371.26	371.26	371.26	371.26	371.26	371.26	371.26
8	Gas Outlet Temp. AH A		°C	155.81	155.81	156.22	157.03	157.43	157.43	157.84	157.84	157.84
9	Gas Outlet Temp. AH B		°C	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30

Tabel 4. Hasil Pengamatan Pengujian Operasional *Co-Firing* 1,25% Bagasse Tebu

No	Parameter	Batasan Operasi	Satuan	8 November 2023								
				11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
1	Load	<330	MW	301.98	301.63	302.48	302.11	302.18	301.99	302.15	301.14	301.23
2	Total Air Flow	±1400	t/h	1078.94	1075.06	1061.57	1061.26	1062.18	1056.01	1061.44	1061.53	1059.98
3	Total Mix Coal-Sugar Cane Bagasse Flow	180-210	t/h	187.29	188.19	187.24	186.50	186.20	188.13	188.73	189.73	189.76
4	Main Steam Pressure	<19.6	MPa	15.28	15.19	15.20	15.29	15.36	15.28	15.23	15.21	15.20
5	Main Steam Temperature	538-548	°C	531.41	531.41	531.41	531.41	531.41	531.41	531.41	531.41	531.41
6	Gas Inlet Temperature AH A	408	°C	375.00	374.20	374.20	374.20	375.01	375.01	375.84	375.84	375.84
7	Gas Inlet Temperature AH B	408	°C	367.75	367.75	367.75	367.75	367.75	367.75	371.27	371.27	371.27
8	Gas Outlet Temp. AH A		°C	158.95	158.11	158.11	158.11	158.52	158.52	158.12	157.31	157.31
9	Gas Outlet Temp. AH B		°C	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30

Tabel 5. Hasil Pengamatan Pengujian Operasional *Co-Firing* 2,5% Bagasse Tebu

No	Parameter	Batasan Operasi	Satuan	8 November 2023								
				11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
1	Load	<330	MW	300.80	301.66	301.80	302.17	301.73	302.40	301.89	301.91	301.17
2	Total Air Flow	±1400	t/h	1063.63	1066.37	1072.94	1068.37	1064.89	1061.33	1074.55	1080.43	1050.95
3	Total Mix Coal-Sugar Cane Bagasse Flow	180-210	t/h	196.11	195.11	193.66	192.22	192.68	194.27	190.58	183.45	185.85
4	Main Steam Pressure	<19.6	MPa	15.19	15.21	15.25	15.32	15.29	15.22	15.35	15.50	15.02
5	Main Steam Temperature	538-548	°C	531.40	531.40	531.40	531.40	531.40	531.40	531.40	531.40	531.40
6	Gas Inlet Temperature AH A	408	°C	374.29	374.29	374.29	374.29	375.10	375.10	375.10	375.10	375.91
7	Gas Inlet Temperature AH B	408	°C	367.72	367.72	367.72	367.72	367.72	367.72	367.72	367.72	371.24
8	Gas Outlet Temp. AH A		°C	158.58	158.18	158.18	158.18	158.18	158.18	158.18	158.18	158.18
9	Gas Outlet Temp. AH B		°C	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30	164.30

Berdasarkan Tabel 3, Tabel 4, dan Tabel 5 menunjukkan hasil pengamatan pengujian operasional menggunakan 100% Batubara, *co-firing* 1,25% *bagasse* tebu, *co-firing* 2,5% *bagasse* tebu sebagai bahan bakar selama ± 4 jam. Parameter operasi *load*, *total air flow*, *total coal and mix coal*, *main steam pressure*, *main steam temperature*, *gas inlet temperature AH A and B*, *gas Outlet Temperature AH A and B* terpantau normal dan masih berada dalam rentang batasan pengoperasian normal.

### 3.2. Pengamatan FEGT

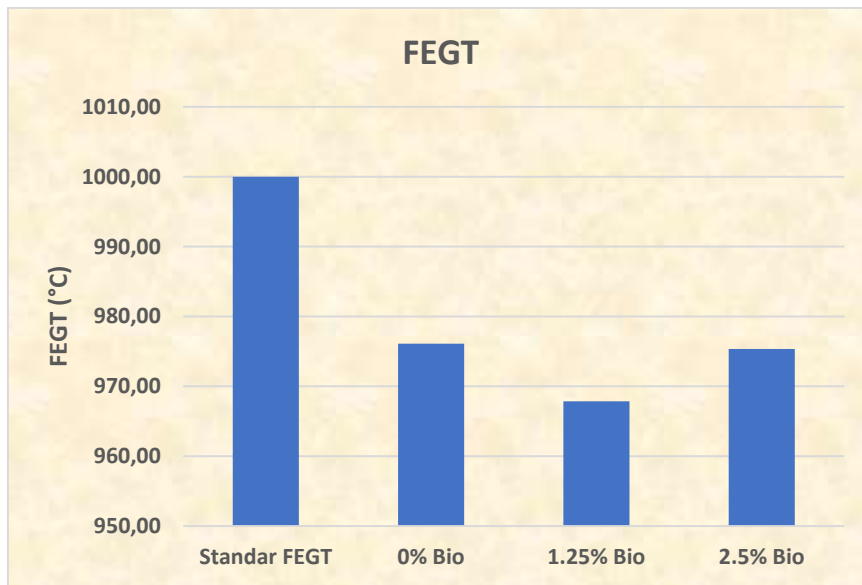
Mengetahui temperatur pembakaran di dalam *boiler* merupakan salah satu indikator yang sangat penting untuk mengetahui kinerja pembakaran dan *boiler* baik dari sisi ekonomi maupun dari sisi lingkungan. FEGT dapat memiliki dampak besar pada kinerja dan keandalan *boiler*. *Desain boiler* melibatkan keseimbangan energi

antara sisi api dan sisi uap. Dalam *boiler* umumnya terdapat pemantauan sisi uap yang cukup, namun tidak memiliki pemantauan dan kontrol api yang memadai. Diawali pencampuran bahan bakar dan udara, selanjutnya terjadi pembakaran di *furnace*, dan fokus pemantauan berikutnya di jalur gas buang hingga temperatur keluar *furnace boiler*. Jadi titik kontrol antara keluar burner hingga keluar *furnace boiler*, salah satunya adalah FEGT. Pada Titik kontrol ekstra ini (FEGT) memiliki berdampak besar pada kinerja dan keandalan *boiler*.

Pengambilan data FEGT dilakukan dengan menggunakan fasilitas instrumentasi yang terdapat pada DCS di beberapa titik pengambilan di area *furnace* pada area yang berbeda. Hasil pengambilan data FEGT ditunjukkan pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Pengujian FEGT

Lokasi	100% Batubara	1,25% Bagasse Tebu	2,5% Bagasse Tebu
	Nilai FEGT (°C)	Nilai FEGT (°C)	Nilai FEGT (°C)
	Rata-rata Temp	Rata-rata Temp	Rata-rata Temp
<i>Left Side</i>	967,15	954,23	959,11
<i>Right Side</i>	985,07	981,48	991,56
<b>Rata-rata</b>	<b>976,11</b>	<b>967,85</b>	<b>975,34</b>



Gambar 1. Grafik Pengamatan *Furnace Exit Gas Temperature* (FEGT)

Berdasarkan Tabel 6 dan Gambar 1 pengukuran *Furnace Exit Gas Temperature* (FEGT) di *boiler* didapatkan hasil rata-rata pada pengujian *co-firing* 1.25% dan 2.5% *bagasse* cenderung lebih rendah sebesar 8.26 °C (1.25% *bagasse*) dan 0.77 °C (2.5% *bagasse*) dibandingkan dengan kondisi operasi 100% batubara.

### 3.3. Evaluasi Biaya Produksi (Komponen C)

Untuk mengetahui pengaruh *co-firing* 1,25% dan 2,5% biomassa *bagasse* tebu pada biaya produksi (komponen C), dilakukan perbandingan *Specific Fuel Consumption* (SFC) dan biaya produksi pada saat menggunakan batubara dan saat uji *co-firing* 1% dan 3% sekam padi.



Perhitungan perbandingan SFC dilakukan pada beban 315 MW *Gross* pada dua skenario bahan bakar yaitu kondisi eksisting menggunakan 100% batubara dan kondisi *co-firing* 1,25% dan 2,5% *bagasse* tebu seperti ditunjukkan pada Tabel di bawah.

Tabel 7. Hasil Perhitungan SFC Kondisi Operasi Menggunakan 100% Batubara dan *Co-firing* 1,25% dan 2,5% *Bagasse* Tebu.

No	Parameter	Satuan	Skenario <i>Co-firing</i>		
			0%	1.25%	2.5%
1	Setting Beban Gross	MW	300.77	301.88	301.73
2	Energi Listrik Gross	MWh	1,179.53	1,182.30	1,192.79
3	Energi Listrik Netto	MWh	1,150.22	1,155.55	1,154.52
4	Durasi	Jam	4.00	4.00	4.00
5	Konsumsi Bahan Bakar CF A	ton	195.76	195.52	195.86
6	Konsumsi Bahan Bakar CF B	ton	194.06	193.85	197.05
7	Konsumsi Bahan Bakar CF C	ton	184.61	184.26	187.79
8	Konsumsi Bahan Bakar CF D	ton	175.63	177.32	183.42
9	Konsumsi Bahan Bakar CF E	ton	-	-	-
11	Total Konsumsi Bahan Bakar	ton	750.06	750.95	764.12
12	<i>Specific Fuel Consumption</i> (SFC)	kg/kWh	0.636	0.635	0.641
13	NK Batubara (Lab pemasok)	kCal/kg	4,286.00	4,286.00	4,286.00
14	NK <i>Bagasse</i>	kCal/kg		2,947.00	2,947.00
15	NPHR	kCal/kWh	2,794.91	2,774.44	2,814.53

Tabel 8. Hasil Perhitungan Harga Biomassa sesuai HPT Perdir PLN No.0004/DIR/2022

Penghematan	Sat	Nilai
Harga Batubara	Rp/kg	825.82
Harga <i>Bagasse</i>	Rp/kg	567.82
Biaya Produksi 100% Batubara	Rp/kWh	525.14
Biaya Produksi 98.75% Batubara 1.25% Bio	Rp/kWh	522.48
Biaya Produksi 97.5% Batubara 2.5% Bio	Rp/kWh	524.90
Penghematan 98.75% Batubara 1.25% Bio	Rp/kWh	2.66
Penghematan 97.5% Batubara 2.5% Bio	Rp/kWh	0.24
Penghematan	Sat	Nilai
DMN	MW	300.00
CF	%	0.80
Produksi 1 th	kWh	2,102,400,000.00
Penghematan 98.75% Batubara 1.25% Bio	Rp/th	5,590,834,238.82
Penghematan 97.5% Batubara 2.5% Bio	Rp/th	497,284,397.40

Berdasarkan Tabel 7 dan Tabel 8 menunjukkan penurunan *specific fuel consumption* (SFC) dari 0,636 kg/kWh (pada saat operasi dengan 100% batubara), menjadi 0,635 kg/kWh (pada saat *co-firing* biomassa dengan 1,25% *bagasse* tebu), dan 0,641 kg/kWh (pada saat *co-firing* biomassa dengan 2,5% *bagasse* tebu). Dengan nilai

kalor biomassa *bagasse* tebu yang lebih rendah daripada dengan batubara, nilai SFC ini membuktikan bahwa Konsumsi bahan bakar saat uji *co-firing* 2,5% *bagasse* tebu mengalami sedikit kenaikan, sedangkan pada saat uji 1,25% *co-firing bagasse* tebu konsumsi bahan bakar relatif sama bila dibandingkan dengan *firing full* Batubara. Dari hasil evaluasi finansial, bila menggunakan harga biomass sesuai Perdir HPT Rp 567,82/kg terdapat penghematan sebesar Rp 2,66/ kWh (1,25% *Bagasse* tebu) dan sebesar Rp 0,24/ kWh (2,5% *Bagasse* tebu). Berdasarkan selisih biaya produksi (komponen C), *co-firing* 1,25% *bagasse* menghemat biaya energi primer sebesar 2,66 Rp/kWh, sedangkan pada *co-firing* 2,5% *bagasse* menghemat biaya energi primer sebesar 0,24 Rp/kWh. Apabila menggunakan asumsi CF = 80% atau dengan produksi listrik 2.102.400.000 kWh diperoleh penghematan biaya bahan bakar hingga 5.590.834.238,82 Rp/th untuk *co-firing* 1,25% dan penghematan biaya bahan bakar hingga 497.284.397,40 Rp/th untuk *co-firing* 2,5%.

### 3.4. Evaluasi Lingkungan

Baku mutu emisi PLTU mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019 seperti ditunjukkan pada Tabel 12 di bawah. Pencampuran bahan bakar, batubara dengan sekam padi pada *co-firing* akan berpengaruh pada emisi gas buang yang dihasilkan, untuk itu dilakukan pengujian emisi gas buang untuk mengamati perubahan yang terjadi selama pengujian *co-firing*.

Tabel 9. Baku Mutu Emisi PLTU Batubara

No	Parameter	Kadar Maksimum		
		Batubara (mg/Nm <sup>3</sup> )	Minyak Solar (mg/Nm <sup>3</sup> )	Gas (mg/Nm <sup>3</sup> )
1	Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	550	650	50
2	Nitrogen Oksida (NO <sub>x</sub> )	550	450	320
3	Partikulat (PM)	100	75	30
4	Merkuri (Hg)	0,03	-	-

Tabel 10. Perbandingan emisi batubara, *co-firing* biomassa *bagasse* tebu 1,25% dan 2,5%

Parameter	Satuan	0%	1,25%	2,5%	Baku Mutu
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	329	319.94	444.59	550
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	306	273.12	118.06	550

Berdasarkan Tabel 9 dan Tabel 10 uji emisi yang dilakukan pada uji pembakaran *co-firing* dengan beban maksimum ±315MW dan pengamatan selama 4 jam, emisi SO<sub>2</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 329 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi 100% batubara menjadi 319,94 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian *Co-firing* 1,25% dan menunjukkan kenaikan menjadi 444,59 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian *Co-firing* 2,5% sehingga masih memenuhi baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>. Emisi NO<sub>x</sub> rata-rata menunjukkan kecenderungan turun dari 306 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian operasi

100% batubara menjadi 273,13 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian *Co-firing* 1,25% dan menjadi 118,06 mg/Nm<sup>3</sup> pada pengujian *Co-firing* 2,5% sehingga masih memenuhi baku mutu emisi KLHK sebesar 550 mg/Nm<sup>3</sup>. Besarnya emisi gas buang baik SO<sub>2</sub> maupun NO<sub>x</sub> pada pengujian *Co-firing* 1,25% dan 2,5% *bagasse* di PLTU Rembang masih memenuhi batasan Baku Mutu Lingkungan sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2019.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan sampel biomassa yang sudah dianalisis dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa *co-firing* biomassa *bagasse* tebu memiliki nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan dengan batubara *low-rank* yang digunakan di PLTU Rembang. Hasil uji emisi SO<sub>2</sub> mengalami penurunan pada pengujian *Co-firing* 1,25% *bagasse* tebu dan mengalami kenaikan pada pengujian *Co-firing* 2,5% *bagasse* tebu dibanding pada saat pengujian 100% batubara sedangkan untuk hasil uji emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan saat uji coba *co-firing* 1,25% dan 2,5% biomassa *bagasse* tebu memiliki nilai yang lebih rendah dibanding penggunaan 100% batubara. Dengan nilai kalor biomassa yang lebih rendah daripada dengan batubara, nilai SFC membuktikan bahwa konsumsi bahan bakar saat uji *co-firing* 2,5% *bagasse* tebu mengalami sedikit kenaikan, sedangkan pada saat uji 1,25% *co-firing bagasse* tebu konsumsi bahan bakar relatif sama bila dibandingkan dengan *firing full* Batubara. Untuk menekan biaya produksi listrik *skema co-firing* biomassa *bagasse* tebu perlu dilakukan penekanan dengan mengacu pada penentuan HPT sesuai Perdir PLN No.0004/DIR/2022, sehingga biaya produksi listrik *co-firing* dapat lebih ekonomis.

#### REFERENCES

- Aditya, I. A., Haryadi, F. N., & Haryani, I. (2022). Analisis Pengujian Co-Firing Biomassa Cangkang Kelapa Sawit Pada PLTU Circulating Fluidized Bed ( CFB ) Sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan. *Rotasi*, 24(2), 61–66.
- Arief Hakim, M., & Tony Suryo Utomo, M. (2023). Pengaruh Penggunaan Biomasa Wood Pellet Pada Proses Co-Firing Terhadap Suhu Pembakaran. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(3), 121–126.
- Ariyanto, A. D., & Mustakim, L. (2023). Analisis Pengujian Co-Firing Biomassa Pada Pltu Batubara Dengan Beberapa Bahan Bakar Alternatif Sebagai Upaya Bauran Energi Baru Terbarukan. *MARTABE : Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(1), 2598–1218.
- Cahyo, N., Alif, H. H., Aditya, I. A., & Saksono, H. D. (2021). Co-firing characteristics of wood pellets on pulverized coal power plant. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(6), 062088. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1098/6/062088>
- Erlangga, D., Setiyo Huboyo, H., & Priyambada, I. B. (2023). Uji Efektivitas Implementasi Biomassa Pelet EFB dan Cangkang Sawit pada Co-Firing di PLTU Tembilahan. VIII(2), 5376–5382.
- KESDM. (2021). Team Handbook Energy & Economic Statistics Indonesia. *Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia*, 23–26. <https://www.esdm.go.id/en/publication/handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-heesi>
- Mujiono, D., & Akbar, Z. A. (2023). Analisa Teknik dan Keekonomian Pengolahan Biomassa Sawdust dari Hutan Tanaman Energi (HTE) untuk Mendukung Program Co-Firing di PLTU Pelabuhan Ratu. *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 10(2), 2622–6774. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/cived/index>
- Palupi, D. N., Sundari, S., Syahtaria, M. I., & Sianipar, L. (2024). *Analisis Dampak Lingkungan dan*

*Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Co-firing Biomassa dan Baru bara sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan.* 5(3), 1363–1371.

Priyono. (2023). Pengaruh Learning Organization terhadap Work Engagement Karyawan PT PLN Nusantara Power. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 6(3), 934–940.

Tanbar, F., Purba, S., Samsudin, A. S., Supriyanto, E., Aditya, I. A., Pln, P. T., Penelitian, P., & Ketenagalistikan, P. (2021). Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy. *Jurnal Offshore*, 5(2), 2549–8681.