

# Studi Pengaruh Biomassa Bahan Bakar Jumputan Padat (BBJP) pada Proses *Co-firing* di PLTU

MOCHAMAD ZAINUDIN ADE ARTA, WIDAYAT, MUCHAMMAD

Program Studi Magister Energi, Universitas Diponegoro, Indonesia  
Email: [adearta@students.undip.ac.id](mailto:adearta@students.undip.ac.id)

Received 1 September 2024 | Revised 30 September 2024 | Accepted 30 Oktober 2024

## ABSTRAK

*Untuk mereduksi emisi Gas Rumah Kaca (GRK), Pemerintah Indonesia mengajukan kebijakan untuk mengaplikasikan teknologi berbasis Energi Terbarukan (EBT) di PT PLN (Persero) dengan menerapkan co-firing di PLTU batubara. Untuk mengevaluasi karakteristik co-firing biomassa BBJP dilakukan pengujian dengan metode direct co-firing dan uji laboratorium untuk mendapatkan komposisi biomassa BBJP melalui Analisis Proksimat dan Analisis Ultimate. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Gross Caloric Value (as received) dan Hardgrove Grindability Index (as received) biomassa BBJP 2646 Kcal/kg dan 20. Hasil uji arus pulverizer, pulverizer outlet temperature, AFR pulverizer mengalami peningkatan seiring kenaikan persentase biomassa BBJP dan sebaliknya untuk coal flow mengalami penurunan. Hasil uji Specific Fuel Consumption (SFC) co-firing biomassa BBJP 5% sebesar 0,58 dan NPHR 2.687 kcal/kWh.*

**Kata kunci:** *co-firing, SFC, biomassa, pulverizer, Hardgrove Grindability Index*

## ABSTRACT

*To reduce greenhouse gas (GHG) emissions, the Government of Indonesia has proposed a policy to apply Renewable Energy-based technology (EBT) at PT PLN (Persero) by implementing co-firing in coal-fired power plants. To evaluate the co-firing characteristics of BBJP biomass, tests were conducted using the direct co-firing method and laboratory tests to obtain the composition of BBJP biomass through Proximate Analysis and Ultimate Analysis. The test results showed that the Gross Caloric Value (as received) and Hardgrove Grindability Index (as received) of BBJP biomass were 2,646 Kcal/kg and 20. The test results of pulverizer flow, pulverizer outlet temperature, AFR pulverizer increased as the percentage of BBJP biomass increased and vice versa for coal flow decreased. Specific Fuel Consumption (SFC) test results of co-firing 5% BBJP biomass amounted to 0.58 and NPHR of 2,687 kcal/kWh.*

**Keywords:** *co-firing, SFC, biomass, pulverizer, Hardgrove Grindability Index*

## 1. PENDAHULUAN

Pada tahun 2017 kebijakan baru dikembangkan berkaitan dengan komposisi sumber energi terbarukan. Pemerintah bertujuan untuk menambah proporsi energi baru dan terbarukan (EBT) dalam kerangka energi nasional sebagaimana digambarkan dalam Rencana Energi Nasional (RUEN) menjadi 23% pada tahun 2025 yang dikategorikan kedalam bentuk energi listrik dan non-listrik. Pemerintah Indonesia telah berjanji untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) sebesar 29% (834 jtCO<sub>2</sub>) sesuai Perjanjian Paris 2015 melalui upaya sendiri dan sebesar 41% (1.081 jt-tCO<sub>2</sub>) dengan bantuan dukungan internasional **(Supriadi, 2016)**.

Sebagai upaya untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Indonesia, Pemerintah Indonesia mengajukan proyek energi baru terbarukan di bawah PT PLN (Persero) yang mencakup penerapan teknologi *co-firing* pada PLTU berbahan bakar batubara **(Pribadi, 2020)**. *Co-firing* adalah metodologi mengintegrasikan biomassa sebagai bahan bakar tambahan dalam sistem pembakaran boiler PLTU batubara. Teknik ini sebagai kontributor yang signifikan terhadap insiatif yang bertujuan untuk mempercepat transisi menuju peningkatan pemanfaatan sumber daya energi terbarukan **(PT PLN (Persero), 2021) (Suganal & Hudaya, 2019)**.

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batubara di Eropa dan Amerika menggabungkan bahan bakar terbarukan sebagian sebagai pengganti sebagian batubara dengan tujuan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Menurut *National Renewable Energy Laboratory* (NREL), metode *co-firing* telah menjalani pengujian dan telah diterapkan secara efektif dalam berbagai jenis boiler tanpa mengurangi efisiensi keseluruhan boiler dengan memodulasi output pembakaran dari gabungan batubara **(Abidin & Hidayat, 2020)**. Proses *co-firing* secara langsung atau tidak langsung mempengaruhi boiler dan peralatan pendukungnya. Penggabungan biomassa dalam proses pembakaran bersama dengan proporsi antara 3% -10% akan menghasilkan pengurangan emisi gas rumah kaca. Selanjutnya, biomassa menunjukkan kandungan sulfur yang lebih rendah dibandingkan batubara. Akibatnya, pembakaran bersama antara batubara dan biomassa secara bersamaan memiliki berpotensi yang signifikan untuk mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan Sox **(Cahyo, dkk, 2020)**.

Penggunaan biomassa serbuk gergaji 5% pada *co-firing* di *Pulverized Coal Boiler* akan berdampak menurunkan FEGT sebesar 4,2 °C atau setara dengan penurunan 0,4% terhadap pemanfaatan batubara sebagai sumber bahan bakar tunggal. Penelitian dilakukan dalam kondisi dimana beban pembangkit dipertahankan pada kondisi tunak konstan (beban maksimum) selama 6 jam **(Tanbar, 2021)**. Secara umum dalam proses *co-firing* tidak diperlukan biaya untuk investasi peralatan dengan metode *direct co-firing*, namun terdapat resiko mengganggu kapasitas pembakaran boiler. Penyebab masalah ini adalah tingkat korosi yang disebabkan oleh akumulasi atau aglomerasi zat alkali pada permukaan boiler, sehingga mengakibatkan penurunan keluaran panas dan waktu pengoperasian **(Basu, dkk, 2011)**.

*Co-firing* merupakan pembakaran simultan dari dua (atau lebih) kategori bahan yang berbeda dan terintegrasi dalam rasio tertentu dengan bahan bakar alternatif terbarukan yang lebih ekonomis untuk mengurangi pemanfaatan batubara dan mengurangi biaya dasar pembangkitan listrik **(Xu, dkk, 2020)**. Ada tiga pendekatan teknologi yang berbeda untuk pembakaran biomassa dan batubara secara bersamaan di pembangkit listrik. Metodologi ini bervariasi mengenai konfigurasi sistem boiler dan rasio biomassa yang digunakan. Tiga metode atau teknik adalah pembakaran bersama langsung (*direct co-*

*firing*), pembakaran bersama tidak langsung (*indirect co-firing*) dan pembakaran bersama parallel (*parallel co-firing*) (Al-Mansour & Zuwala, 2020)

Pada penelitian ini biomassa yang digunakan adalah Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP). Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP) merupakan bahan bakar yang berasal dari limbah (sampah) yang telah menjalani prosedur sistematis penyortiran dan homogenisasi menjadi ukuran butiran kecil atau telah dibentuk menjadi pelet. Jumptan ini mengalami pemrosesan melalui teknologi Biodrying. Teknologi Biodrying memerlukan dekomposisi sebagian bahan organik dengan memanfaatkan energi panas yang dihasilkan oleh mikroorganisme ditambah dengan aerasi untuk memfasilitasi peghilangan kelembapan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi karakteristik BBJP, yang meliputi Analisis Proksimat (*Proximate Analysis*), Analisis Ultimate (*Ultimate Analysis*) dan mengetahui dampak biomassa BBJP saat *co-firing* pada peralatan serta efisiensi pembangkit secara keseluruhan.

## 2. METODE

Langkah pertama yaitu melakukan uji laboratorium terhadap kandungan biomassa BBJP melalui Analisis Proksimat dan Analisis Ultimate untuk mengetahui karakteristik biomassa BBJP. Metodologi eksperimental *direct-cofiring* digunakan untuk melakukan pengujian pada PLTU dengan bahan bakar batubara jenis *Pulverized Coal Boiler*. Kemudian biomassa BBJP dan batubara di campur (*mixing*) di coal yard sesuai dengan persentase biomassa BBJP yang akan digunakan. Setelah mendapatkan campuran yang homogen, campuran bahan bakar di masukkan ke coal bunker kemudian melewati *coal feeder* dan *pulverizer*. Uji *co-firing* dilakukan dengan persentase biomassa BBJP sebesar 0-5%. Pengujian *co-firing* dilakukan selama 2 jam dengan stabilisasi selama 1 jam, kemudian dilakukan monitoring dan pencatatan data parameter operasi di DCS.

### 2.1 Prinsip Kerja PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap merupakan kategori fasilitas yang memnfaatkan uap sebagai media untuk menggerakkan turbin dan generator. Fasilitas ini banyak digunakan karena pengeluaran bahan bakar yang ekonomis dan kemampuan untuk menghasilkan sejumlah besar energi listrik. Biasanya, sumber energi utama yang digunakan dalam PLTU adalah batubara. Bahan bakar diubah menjadi energi panas yang dimanfaatkan di pembangkit listrik adalah batubara. Batubara mengalami proses konversi menjadi energi panas yang kemudian di transmisikan ke air, menyebabkan berubah menjadi uap yang mendorong turbin untuk menghasilkan energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian digunakan untuk mengoperasikan generator yang mampu menghasilkan listrik. Setelah lewatnya uap melalui turbin, kemudian dikondensasi menjadi air dan ditampung di *hotwell*. Air tersebut kemudian mengalami resirkulasi terus-menerus (Syahputra, 2020).

Berikut komponen utama beserta fungsinya dari PLTU batubara:

- a. Batubara berfungsi sebagai bahan bakar yang mudah terbakar digunakan untuk tujuan memanaskan air, sehingga mengubah menjadi uap untuk mengoperasikan turbin dan generator.
- b. *Pulverizer* merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengiling batubara sebelum dibakar di boiler. Proses penggilingan batubara melalui proses yang melibatkan tekanan dan gesekan. Di dalam *pulverizer* batubara akan di giling oleh *grinding roller* yang berputar diatas *grinding table*. Hasil dari penggilingan batubara akan menghasilkan batubara hingga ukuran 200 mesh. Adapun spesifikasi *pulverizer* ditunjukkan pada Tabel 1.

- c. Boiler adalah alat yang berfungsi mengubah air menjadi uap melalui pemanfaatan energi panas yang berasal dari pembakaran bahan bakar.
- d. Turbin merupakan peralatan yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik yang bersumber dari uap air menjadi energi mekanik.
- e. Generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

**Tabel 1. Spesifikasi Teknik *Pulverizer***

<b>Uraian</b>	<b>Spesifikasi</b>
Pembuat	Babcock & Wilcock
Terpasang	6 buah (6 x 20 %)
Type	<i>Vertical spindle roll &amp; race</i>
Ukuran	MPS 89N
Kapasitas	3.000 kg/h
<i>Fineness</i>	200 mesh > 70 %
Putaran	23,8 rpm pada <i>grinding ring</i> , 982 rpm pada <i>drive motor</i>
Motor	825 kw / 3,3 kv / 982 rpm, <i>insulation class F</i>

## 2.2 Biomassa Bahan Bakar Jemputan Padat (BBJP)

Bahan bakar dibuat dengan cara memilah dan menghomogenisasi sampah menjadi partikel-partikel kecil atau sebagai alternatif transformasi bahan tersebut menjadi pelet yang berfungsi sebagai pengganti bahan bakar fosil. Biomassa BBJP yang digunakan adalah produk yang dihasilkan melalui beberapa tahapan sebelum digunakan untuk uji *co-firing* di PLTU, adapun tahapan sebagai berikut:

1. Penentuan dan karakterisasi komposisi sampah yang akan diolah dengan persyaratan maksimal kandungan non organik 20% dan minimal organik 80%.
2. Pemilahan sampah tidak dapat digunakan ataupun yang masih memiliki nilai ekonomi (kaca, besi, aluminium, pampers dll).
3. Penimbangan sampah dan pencampuran sampah yang telah dipilah sesuai dengan variasi yang dibutuhkan (perbedaan komposisi menyebabkan perbedaan kualitas biomassa BBJP). Kemudian memasukkan sampah kedalam bedengan menggunakan alat berat (bob cat, excavator dsb).
4. Penyiraman bioaktivator sesuai dengan kebutuhan (rule of thumb bio activator diencerkan dengan 40-80 L air, dan bio activator disiram pada setiap ketinggian sampah pada bedengan 20 cm). Selanjutnya setelah bedengan penuh, tutup bedengan menggunakan terpal atau karung goni.
5. Proses fermentasi akan terjadi kurang lebih sekitar 3 hari setelah bedengan ditutup. Setelah fermentasi terjadi biarkan hingga 3-5 hari untuk menurunkan kadar total moisture pada bakal produk BBJP, selama proses berlangsung ukur temperatur dan pH secara berkala.
6. Memanen hasil fermentasi (BBJP) dan mengangin-anginkan BBJP untuk menurunkan kadar air dan mempermudah kinerja mesin.
7. Mencacah kasar BBJP (mesh 1) dan cacah halus (mesh 5). Selanjutnya BBJP dapat di packing dan di loading pada alat transportasi.

## 2.3 Analisis Proksimat dan Ultimate

Untuk mengetahui komposisi biomassa BBJP yang digunakan untuk *co-firing*, evaluasi dapat dilakukan berdasarkan karakteristik fisik dan kandungan kimia yang dipastikan melalui pemeriksaan laboratorium secara empiris. Penilaian laboratorium empiris meliputi Analisis Proksimat dan Analisis Ultimate. Analisis proksimat merupakan prosedur laboratorium yang bertujuan untuk mengukur kadar air (*moisture content*), zat terbang (*volatile matter*), karbon

tetap (*fixed carbon*) dan kadar abu (*ash*) yang melekat di dalam biomassa biomassa. Sedangkan analisis ultimate adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengetahui kandungan komposisi kimia dari biomassa yang mencakup berbagai elemen penting yang berhubungan dengan karakteristik energi dan potensi pembakaran. Adapun hasil analisis proksimat dan ultimate biomassa BBJP ditunjukkan Tabel 2 (Tanbar, 2021).

**Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium Batubara dan Biomassa BBJP**

Parameter	Satuan	Batubara AR	BBJP AR
A. Total Moisture	%Wt	26,20	23,7
B. Proximate Analysis			
Ash Content	%Wt	5,31	27,08
Volatile Matter	%Wt	33,26	41,29
Fixed Carbon	%Wt	34,81	7,93
C. Total Sulfur	%Wt	0,59	0,17
D. Gross Calorific Value	kCal/kg	4820	2646
E. Ultimate Analysis			
Carbon	%Wt	49,95	27,9
G. Hardgrove Grindability Index	Index	49	20
H. Chlorine	%	0,0157	0,5491

## 2.4 Co-firing

*Co-firing* merupakan salah satu metode yang memfasilitasi penggantian sebagian batubara dengan bahan bakar terbarukan dalam proses pembakaran di boiler. Salah satu tujuan dari *co-firing* yaitu untuk mengurangi emisi batubara yang dibawa oleh gas buang. *Co-firing* merupakan salah satu metode jangka panjang yang dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub>, memerlukan investasi modal yang relatif rendah, menawarkan manfaat lingkungan lebih baik bila dibandingkan dengan menggunakan batubara sepenuhnya (Kommalapati, dkk, 2018) dan selain itu menunjukkan kandungan sulfur di biomassa lebih sedikit dibandingkan dengan batubara (Tchapda & Pisupati, 2014). Jenis biomassa yang digunakan dalam proses *co-firing* secara umum antara lain sawdust, cangkang sawit, sekam padi atau sampah yang sudah diolah. Ada beberapa metode *co-firing* yang dapat diterapkan pada proses pembakaran batubara dengan biomassa yaitu (Al-Mansour & Zuwala, 2020):

- Direct Co-firing* : dalam paradigma konfigurasi ini, biomassa diperkenalkan sebagai bahan bakar sekunder (biomassa) bersama dengan bahan bakar primer (batubara) yang berfungsi sebagai bahan bakar utama ke dalam boiler tunggal. Pendekatan *direct co-firing* lebih umum karena efektivitas biaya investasi yang lebih ekonomis.
- Indirect Co-firing* : metode ini memerlukan persiapan peralatan tambahan untuk bahan bakar sekunder secara independen dari bahan bakar primer. Awalnya biomassa mengalami proses gasifikasi untuk mengubah menjadi syngas di dalam mesin sebelum diarahkan ke ruang bakar.
- Parallel Co-firing* : dalam teknik ini, biomassa yang diperlukan dipisahkan dari boiler berbahan bakar batubara, dimana uap yang dihasilkan dari pembakaran biomassa dan batubara kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik.

Diantara tiga metodologi untuk *co-firing*, *direct co-firing* merupakan pendekatan yang paling mudah untuk diimplementasikan dan dikaitkan dengan pengeluaran modal yang relatif rendah. Kekurangan *direct co-firing* adalah perlunya mencampurkan biomassa hingga homogen untuk mencapai kualitas operasi yang optimal.

## 2.5 Net Plant Heat Rate (NPHR) dan Specific Fuel Consumption (SFC)

NPHR menunjukkan tingkat efisiensi pembangkit listrik yang memproses bahan bakar menjadi energi panas dan kemudian menjadi listrik. Tara kalor menunjukkan energi panas agregat yang dimasukkan ke dalam pembangkit sehubungan dengan energi listrik yang dihasilkan. Adapun formula tara kalor ditulis dalam Persamaan 1 (Tambubolon & Dwiyantoro, 2023).

$$\text{NPHR} = (Q_f \times \text{LHV}) / (\text{Netto Power}) \quad (1)$$

dimana:

NPHR : *Net Plant Heat Rate* [kkal/kWh]  
 Q<sub>f</sub> : Total konsumsi bahan bakar per jam [kg]  
 LHV : Nilai kalor batubara per kg [kkal/kg]  
*Netto Power* : Total energi listrik (daya output generator – total pemakaian sendiri) [kWh]

NPHR merupakan salah satu parameter penting yang digunakan dalam evaluasi kinerja pembangkit listrik tenaga uap. NPHR menunjukkan tingkat efisiensi pembangkit dalam mengubah energi panas menjadi energi listrik. *Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan metrik yang signifikan dalam dinamika operasional pembangkit karena mencerminkan seberapa besar efisiensi dalam mengubah energi kimia menjadi energi mekanik (Gudmundsson, 2013). SFC mengukur jumlah total bahan bakar yang dikonsumsi oleh pembangkit untuk menghasilkan 1 kWh output listrik. Nilai SFC yang rendah memiliki korelasi dengan pengurangan konsumsi bahan bakar. SFC dapat direpresentasikan secara matematis ditulis dalam Persamaan 2 (Aditya, dkk, 2022):

$$\text{SFC Netto} = Q_f / (\text{Netto Power}) \quad (2)$$

dimana:

SFC Netto : *Specific Fuel Consumption Netto* [kg/kWh]  
*Netto Power* : Total energi listrik (daya output generator – total pemakaian sendiri) [kWh]  
 Q<sub>f</sub> : Total konsumsi bahan bakar per jam [kg]

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Karakteristik Biomassa Bahan Bakar Jumptan Padat (BBJP)

Dari Tabel 2 menunjukkan hasil analisis proksimat dan ultimate antara batubara dan biomassa BBJP. Adapun perbedaan antara batubara dengan biomassa BBJP sebagai berikut:

- Konsentrasi sulfur dalam biomassa BBJP relatif lebih rendah dibandingkan dengan yang terkandung di batubara. Disparitas ini akan mempengaruhi emisi pembakaran yang dihasilkan lebih rendah.
- Proporsi *volatile matter* yang ada dalam biomassa BBJP melebihi yang ditemukan di batubara. Tingginya tingkat *volatile matter* menunjukkan bahwa biomassa memiliki sifat mudah terbakar dan potensi pengapian cepat. Namun kadar yang terlalu tinggi juga menyebabkan peningkatan temperature pada *outlet pulverizer*, kesulitan dalam mencapai suhu yang tinggi untuk pembakaran sempurna sehingga berdampak pada kinerja termal dari bahan bakar dan kebutuhan udara semakin tinggi (AFR) untuk proses pembakaran.
- HGI (*Hardgrove Grindability Index*) biomassa BBJP sebesar 20 lebih

rendah dibandingkan dengan batubara sebesar 49. Biomassa BBJP dengan nilai HGI dibawah 30 termasuk dalam kategori sangat sulit untuk digerus. Hal ini akan berdampak pada kerja motor pulverizer semakin tinggi dan mengakibatkan kenaikan arus motor *pulverizer*.

### 3.2 Arus *Pulverizer*

Berdasarkan Tabel 2 bahwa *Hardgrove Grindability Index* ukuran ketahanan batubara terhadap penghancuran (HGI) dari biomassa BBJP sebesar 20 dan batubara sebesar 49. Biomassa BBJP memiliki nilai ukuran ketahanan terhadap penghancuran lebih kecil dibandingkan dengan ukuran ketahanan batubara terhadap penghancuran. Hal ini akan berdampak pada kerja motor *pulverizer* semakin tinggi dan mengakibatkan kenaikan arus motor pulverizer. Selain itu, biomassa BBJP memiliki kandungan *volatile matter (as received)* 41,26 %Wt lebih tinggi dibandingkan dengan batubara 33,26 %Wt. Selain itu penambahan *volatile matter* juga berdampak pada kebutuhan udara untuk pembakaran semakin sedikit yang diperlukan untuk mencapai pembakaran yang sempurna. Hal ini berdampak perubahan dalam aliran udara dan meningkatkan kinerja *pulverizer*. Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran arus motor *pulverizer* terhadap persentase biomassa BBJP yang digunakan. Pengukuran arus dilakukan terhadap 6 buah *pulverizer* yang dinotasikan dengan huruf A-F. Semakin besar persentasi biomassa BBJP yang digunakan berdampak pada kenaikan arus motor *pulverizer*.

**Tabel 3. Hasil Pengukuran Arus Motor *Pulverizer* Terhadap Rasio Biomassa BBJP**

Persentase Biomassa (%)	Arus <i>Pulverizer</i> (A)					
	A	B	C	D	E	F
0	124,26	122,82	123,07	123,37	124,03	124,27
1	124,61	122,89	123,15	123,56	124,10	124,33
2	124,70	122,93	123,28	123,70	124,37	124,40
3	125,37	123,53	124,55	123,74	125,71	125,70
4	127,40	125,15	126,28	125,32	127,32	127,37
5	128,80	128,44	129,64	128,55	128,65	130,61

### 3.3 *Coal Flow*

Tabel 4 menunjukkan coal flow rata-rata saat proses *coal-firing* dan *co-firing* mengalami trend penurunan. Adapun notasi huruf A-F menunjukkan 6 buah *pulverizer* yang dilakukan pengamatan. Penyebab *coal flow* mengalami penurunan yaitu biomassa BBJP memiliki kandungan *volatile matter (as received)* 41,26 %Wt lebih tinggi dibandingkan dengan batubara 33,26 %Wt. Peningkatan *volatile matter* dapat berpengaruh pada kenaikan intensitas nyala api dan efisiensi pembakaran yang memungkinkan reduksi jumlah pasokan batubara (*coal flow*) tanpa mengurangi output listrik. *Coal flow* terendah pada persentase biomassa BBJP 0% yaitu pulverizer B sebesar 54,81 % dan tertinggi *pulverizer* D sebesar 57,01%. Ketika persentase biomassa BBJP 5%, *coal flow* terendah *pulverizer* B sebesar 54,25% dan tertinggi *pulverizer* A sebesar 56,40%.

**Tabel 4. Coal Flow Terhadap Rasio Biomassa BBJP**

Persentase Biomassa (%)	Coal Flow Pulverizer (T/H)					
	A	B	C	D	E	F
0	56,91	54,81	56,32	57,01	55,81	56,42
1	56,81	54,68	56,22	56,98	55,71	56,33
2	56,64	54,62	56,16	56,78	55,65	56,26
3	56,70	54,59	56,03	56,54	55,52	56,12
4	56,60	54,46	55,96	56,66	55,43	56,05
5	56,40	54,25	55,72	56,23	55,23	55,85

### 3.4 Pulverizer Outlet Temperature

Terjadi peningkatan nilai *pulverizer outlet temperature* ketika persentase biomassa BBJP mengalami peningkatan ditunjukkan pada Tabel 5. Adapun notasi huruf A-F menunjukkan 6 buah *pulverizer* yang dilakukan pengamatan. *Total moisture* batubara sebesar 26,20 (*As Received*) dan apabila terdapat penambahan biomassa BBJP 5% menjadi 29,27 (*As Received*). Peningkatan nilai *pulverizer outlet temperature* akibat respon *pulverizer* membutuhkan udara primer (*hot air*/udara panas) yang lebih banyak untuk mengeringkan bahan bakar sebagai respon kenaikan *total moisture*. Kenaikan kebutuhan udara primer berdampak pada kenaikan *pulverizer outlet temperature*.

**Tabel 5. Pulverizer Outlet Temperature Terhadap Rasio Biomassa BBJP**

Persentase Biomassa (%)	Pulverizer Outlet Temperature					
	A (°C)	B (°C)	C (°C)	D (°C)	E (°C)	F (°C)
0	60,09	62,58	59,92	60,60	60,82	58,79
1	60,29	62,77	59,93	60,82	60,98	58,96
2	60,33	62,83	60,20	60,88	61,08	59,08
3	60,42	62,92	60,24	60,93	61,17	59,10
4	60,64	63,15	60,50	61,13	61,38	59,34
5	60,68	63,16	60,53	61,20	61,40	59,41

### 3.5 Air Fuel Ratio (AFR) Pulverizer

Tabel 6 menunjukkan nilai AFR saat proses *coal-firing* dan *co-firing* pengujian. Adapun notasi huruf A-F menunjukkan 6 buah *pulverizer* yang dilakukan pengamatan. Nilai AFR mengalami kenaikan ketika persentase biomassa BBJP mengalami peningkatan. Kenaikan nilai AFR yang disebabkan oleh biomassa BBJP memiliki senyawa *volatile matter* yang lebih tinggi terhadap batubara. Peningkatan *volatile matter* mempengaruhi proses pembakaran yang berdampak pada peningkatan kebutuhan udara dan bahan bakar untuk mempertahankan beban yang sama.

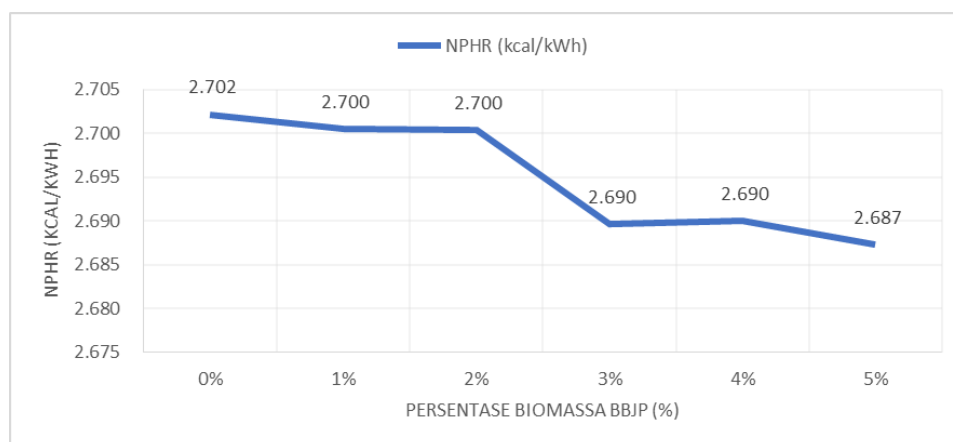


**Tabel 6. Air Fuel Ratio Terhadap Rasio Biomassa BBJP**

Persentase Biomassa (%)	AFR Pulverizer					
	A	B	C	D	E	F
0	1,65	1,65	1,64	1,63	1,67	1,66
1	1,66	1,65	1,66	1,65	1,68	1,67
2	1,66	1,66	1,66	1,66	1,68	1,67
3	1,67	1,66	1,67	1,66	1,68	1,67
4	1,67	1,67	1,67	1,66	1,68	1,67
5	1,68	1,67	1,67	1,67	1,68	1,67

### 3.6 Net Plant Heat Rate (NPHR)

NPHR menunjukkan seberapa efisien sebuah pembangkit beroperasi dengan mempertimbangkan beban. Penilaian nilai tara kalor dilakukan untuk menentukan jumlah input energi panas yang diperlukan untuk menghasilkan energi listrik sebesar 1 kWh. Semakin rendah nilai tara kalor maka semakin sedikit energi panas yang dihasilkan untuk menghasilkan 1kWh. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi sebuah pembangkit maka nilai tara kalor semakin kecil. Penentuan nilai tara kalor melalui metodologi *input-output* dengan melibatkan perhitungan konsumsi bahan bakar (kg/jam) yang selanjutnya dikalikan dengan nilai kalor batubara dan kemudian dibagi dengan total produksi listrik (kWh).



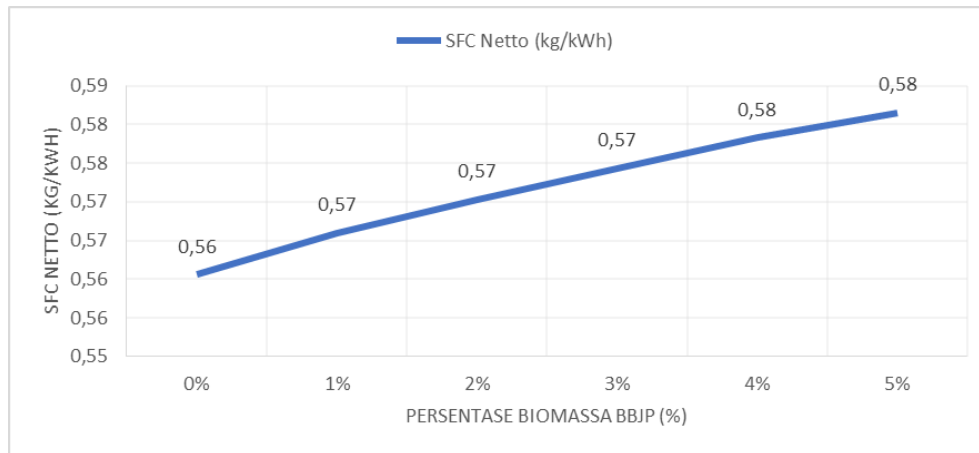
**Gambar 1 . Grafik NPHR Terhadap Rasio Biomassa BBJP**

Gambar 1 menunjukkan nilai NPHR terhadap persentase biomassa BBJP. Semakin tinggi persentase biomassa BBJP akan berdampak pada penurunan nilai NPHR dan menunjukkan peningkatan efisiensi pembangkit. Penurunan nilai NPHR akibat kenaikan pemakaian bahan bakar (kg), penurunan produksi listrik *netto* (kWh) dan penurunan nilai kalor bahan bakar (kCal/kg). Penambahan persentase biomassa pada saat proses *co-firing* akan berdampak pada penurunan nilai NPHR. Hal ini diakibatkan adanya peningkatan efisiensi pada boiler sehingga pembangkit lebih mudah menghasilkan energi (**Tambubolon & Dwiyantoro, 2023**).

### 3.7 Specific Fuel Consumption (SFC)

*Specific Fuel Consumption* (SFC) didefinisikan sebagai massa batubara yang terbakar dalam proses pembakaran boiler untuk menghasilkan satu kilowatt *output* listrik selama satu jam,

diukur dalam kilogram per kilowatt-jam (kg/kWh). Angka SFC bergantung pada berbagai faktor yang berpengaruh, terutama karakteristik batubara yang digunakan dan produksi listrik yang dihasilkan. Penurunan nilai SFC memungkinkan akan efisien pemanfaatan batubara. Selain itu, SFC juga dapat digunakan dalam menentukan biaya produksi listrik.



**Gambar 2. Grafik NPHR Terhadap Rasio Biomassa BBJP**

Gambar 2 menunjukkan hubungan antara SFC dengan persentase biomassa BBJP. Seiring dengan meningkatnya rasio biomassa BBJP terjadi kenaikan nilai SFC. Kenaikan nilai SFC karena peningkatan pemakaian bahan bakar (kg) dan penurunan produksi listrik netto (kWh). *Co-firing* biomassa dapat menyebabkan SFC mengalami kenaikan akibat peningkatan pemakaian bahan bakar (kg) dan penurunan produksi listrik netto (kWh) (Cahyo, dkk, 2020).

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan terhadap evaluasi karakteristik biomassa BBJP, dampak *co-firing* biomassa BBJP pada peralatan serta efisiensi pembangkit. Konsentrasi sulfur dalam biomassa BBJP relatif lebih rendah dibandingkan dengan yang terkandung di batubara. Disparitas ini akan mempengaruhi emisi pembakaran yang dihasilkan lebih rendah. Proporsi volatile matter yang ada dalam biomassa BBJP melebihi yang ditemukan di batubara. Tingginya tingkat volatile matter menunjukkan bahwa biomassa memiliki sifat mudah terbakar dan potensi pengapian cepat. Namun kadar yang terlalu tinggi juga menyebabkan peningkatan temperature pada outlet pulverizer, kesulitan dalam mencapai suhu yang tinggi untuk pembakaran sempurna sehingga berdampak pada kinerja termal dari bahan bakar dan kebutuhan udara semakin tinggi (AFR) untuk proses pembakaran. HGI (*Hardgrove Grindability Index*) biomassa BBJP sebesar 20 dan batubara sebesar 49. Nilai HGI dibawah 30 termasuk dalam kategori sangat sulit untuk digerus dan berdampak pada kerja motor pulverizer semakin tinggi dan mengakibatkan kenaikan arus motor pulverizer. Penyebab *coal flow* mengalami penurunan yaitu biomassa BBJP memiliki kandungan *volatile matter (as received)* 41,26 %Wt lebih tinggi dibandingkan dengan batubara 33,26 %Wt. *Total moisture* batubara sebesar 26,20 (*As Received*) dan apabila terdapat penambahan biomassa BBJP 5% menjadi 29,27 (*As Received*) sehingga peningkatan nilai *pulverizer outlet temperature* akibat respon *pulverizer* membutuhkan udara primer (*hot air*/udara panas) yang lebih banyak. Hasil uji Specific Fuel Consumption (SFC) *co-firing* biomassa BBJP 5% sebesar 0,58 dan NPHR 2.687 kcal/kWh.

## DAFTAR RUJUKAN

- Aditya, Indra A., Haryadi, Fajar N., & Haryani, Indri. (2022). Analisis Pengujian Co-Firing Biomassa Cangkang Kelapa Sawit Pada PLTU Circulating Fluidized Bed (CFB) Sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan. *Rotasi*, 24(02), 61-66.
- Basu, P., Butler, J., and M. A. Leon. (2011). Biomass co-firing options on the emission reduction and electricity generation costs in coal-fired power plants. *Renewable Energy*, 36(1), 282-288.
- Brady, Robert.N. (2013). Internal Combustion (Gasoline and Diesel) Engines. *Encyclopedia of Energy*, 515-528.
- Cahyo, N., Alif, H. H. ., H. D. Saksono & P. Paryanto. (2020). Performance and Emission Characteristic of Co-firing of Wood Pellets with sub-Bituminous Coal in a 330 MWe Pulverized Coal Boiler. *International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT- PEP)*, (pp. 44-47).
- Dwijaji, Yudhi Chandra. (2023). Analisis Pengaruh Co-Firing Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan Boiler PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ. *Journal Of Applied Mechanical Engineering And Renewable Energy (JAMERE)*, 8 – 16.
- Al-Mansour, F., & Zuwala, J. (2020). An evaluation of biomass co-firing in Europe. *Biomass Bioenergy*, 34(5), 620–629.
- Gudmundsson, Snorri. (2013). *General Aviation Aircraft Design*. Newyork: Elsevier.
- Ilham, Muhammad Farras. (2022). Pengaruh Co-Firing Menggunakan Sawdust Terhadap Nilai Heat Rate PLTU. *JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan*, 3(2), 121 – 127.
- Kommalapati, R. R., Hossan, I., Botlaguduru, V. S. V., Du, H., & Huque, Z. (2018). Life cycle environmental impact of biomass co-firing with coal at a power plant in the greater Houston area. *Sustainability (Switzerland)*, 10(7), 2193.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2017). *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22/2017*. Jakarta: Pemerintah RI.
- Pribadi, A. (2020). *Terapkan Metode Co-Firing Di PLTU Ini Potensi Biomassa Untuk Substitusi Batubara*. Retrived from <https://Ebtke.Esdm.Go.Id/>.
- Pronobis, Marek. (2005). Evaluation of the Influence of Biomass Co-Combustion on Boiler Furnace Slagging by Means of Fusibility Correlations. *Biomass and Bioenergy*, (pp. 375 – 383).
- PT PLN (Persero). (2021). *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (Ruptl) 2021-2030*. Retrived from [https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download\\_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf](https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/38622-ruptl-pln-2021-2030.pdf).

- Srinivas, Tirumala G. (2017). Efficiency of a Coal Fired Boiler in a Typical Thermal Power Plant. *American Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2(1), 32.
- Suganal, S., & Hudaya, Gandhi K. (2019). Bahan bakar co-firing dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk briket (skala laboratorium). *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 15(1), 31–48.
- Supriadi, Agus. (2016) *Data Inventory Emisi GRK Sektor Energi*. Jakarta: Pusat Data dan Teknologi Informasi Energi dan Sumber Daya Mineral. Kementerian ESDM.
- Syahputra, R. (2020). *Teknologi Pembangkit Tenaga Listrik*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Tampubolon, Gerald & Dwiyanoro, Bambang. (2023). Studi Pengaruh Rasio Co-firing Bahan Bakar Batubara dan Biomassa Terhadap Performa Boiler. *JURNAL TEKNIK ITS*, 12(3), 2301-9271.
- Tanbar, Fefria. (2021). Analisa Karakteristik Pengujian Co-firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 5(2), 50-56.
- Tchapda, A. H., & Pisupati, S. V. (2014). A review of thermal co-conversion of coal and biomass/waste. *Energies*, 7(3), 1098–1148.
- Tripathy, S., Mahakud, Jayanarayan., & Roul, Manmatha K. (2014). Energy And Exergy Analysis for Biomass Co- Firing Coal Fuel Based Thermal Power Plant. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 03(04), 54-59.
- Xu, Y., Yang, Kun., Zhou, Jiahui., & Zhao, Guohao. (2020). Coal-biomass co-firing power generation technology: Current status, challenges and policy implications. *Sustainability*, 12(9), 3692.
- Abidin, Z., & Hidayat, Y. (2020). *Uji Unjuk Kerja Cofiring Pelet Solid Recovered Fuel (SRF) PLTU Jeranjang*. Jakarta: Laporan Penelitian Bersama: Indonesia Power