Analisis pengaruh Co-firing biomasa terhadap kinerja peralatan boiler CFB pada PLTU Jeranjang OMU unit 3

Suanggoro Legowo 1, I Ketut Wiryajati 1

1  Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram, Jalan Majapahit no. 62 Mataram 80135 NTB, Indonesia.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ARTICLE INFO** |  | **ABSTRACT**  |
| **Article history:**Received March 22, 2024Revised March 29, 2024Accepted March 29, 2024 |  | *In an effort to increase efficiency and reduce negative environmental impacts, Indonesia has taken steps forward in implementing New and Renewable Energy (EBT) as part of the national energy matrix, one of these steps is by co-firing biomass at steam power plants (PLTU ). The implementation of co-firing will definitely have a direct or indirect impact on the boiler equipment. There are three co-firing approaches, namely direct, indirect and parallel, generally the approach that is often used is direct co-firing because it is more economical. From the comparisons carried out, the results show that the application of co-firing does not affect the performance of the boiler equipment, in fact the efficiency of the PLTU is increasing and the pollutants produced by the PLTU are reduced* |
| **Keywords :**Co-firing; EBT;Boiler;Generator; |
| **Corresponding Author**: Suanggoro Legowo, Jurusan Teknik Elektro Universitas Mataram, Jalan Majapahit no.62 Mataram 80135 NTB, IndonesiaEmail: suanggorolegowo@gmail.com |

# PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, listrik telah menjadi kebutuhan esensial bagi masyarakat modern. Seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan industri, permintaan akan listrik semakin meningkat, yang berdampak pada peningkatan pembangunan pusat pembangkit listrik di berbagai wilayah.

Salah satu jenis pembangkit listrik yang umum digunakan di Indonesia adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) [1]. PLTU menggunakan bahan bakar fosil, yaitu batu bara sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. Penggunaan bahan bakar fosil ini menimbulkan dampak lingkungan yang berkontribusi pada perubahan iklim dan polusi udara [2]. Bahan bakar fosil yang digunakan dalam PLTU juga adalah sumber daya alam yang terbatas dan dapat habis kapan saja. Dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan negatif, Indonesia telah mengambil langkah maju dalam menerapkan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) sebagai bagian dari matriks energi nasional untuk mencapai target bauran energi nasional dari EBT sebesar 23% pada tahun 2025 [3]. Salah satu langkah Indonesia untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi dampak lingkungan negatif tersebut adalah dengan melakukan *co-firing* biomassa pada PLTU.

PT.PLN (Persero) sektor Jeranjang menjadi salah satu penyedia energi listrik di wilayah NTB yang telah mengoperasikan tiga unit pembangkit dengan kapasitas 25 MW untuk setiap unitnya [4]. Penggunaan *co-firing* biomassa di PLTU Jeranjang memiliki potensi untuk mengurangi dampak lingkungan negatif dan memberikan kontribusi pada upaya mencapai target energi berkelanjutan. Namun, dengan adanya proses *co-firing* pada *boiler* tentunya akan memberikan dampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap *boiler* dan alat bantunya. Oleh karena itu perlu diketahui seberapa besar pengaruhnya terhadap kinerja peralatan *boiler* dan apakah perlu adanya penambahan peralatan atau perubahan tertentu.

 ***Boiler* PLTU Jeranjang OMU**

PLTU Jeranjang OMU menggunakan *boiler CFB*. Konsep dasar dari *boiler CFB* adalah sebuah *boiler* yang menggunakan konsep unggun fluidisasi (*fluidized bed*) seperti *boiler stoker* atau tipe *boiler* bara api. *Boiler CFB* dapat didefinisikan sebagai berikut:

1) *CIRCULATING* yaitu terjadinya sirkulasi batu bara yang belum habis terbakar dari *furnace* ke *cyclon* kemudian masuk ke *seal pot* dan akhirnya kembali ke *furnace*.

2) *FLUIDIZED* yaitu penghembusan udara *primer* untuk menjaga *material bed* dan batu bara tetap melayang di dalam f*urnace*.

3) *BED* yaitu Material berupa partikel-partikel kecil (pasir kuarsa, *bottom ash*) yang digunakan sebagai media awal transfer panas dari pembakaran *high-speed diesel* (*HSD)* ke pembakaran Batu bara [5].

**Pengertian *Co-firing***

*Co-firing* adalah praktik penambahan biomassa sebagai bahan bakar pengganti sebagian dalam *boiler* pembangkit listrik tenaga batu bara [7]. *Co-firing* dilakukan tanpa meningkatkan biaya kapasitas investasi (*CAPEX*) atau membangun pembangkit listrik baru yang menggunakan biomassa, sehingga menjadi lebih kompetitif secara ekonomis [6]. Tujuan utama dari *co-firing* adalah mengurangi ketergantungan pada batu bara dan diharapkan dapat mengurangi emisi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik, sehingga lebih ramah lingkungan [8].

Hingga saat ini, terdapat tiga jenis konfigurasi *co-firing* yang digunakan dalam pembangkit listrik, yaitu *direct co-firing*, *indirect co-firing*, dan *parallel co-firing*.

a) *Direct co-firing*

Pada konfigurasi *direct co-firing*, biomassa (sebagai bahan bakar *sekunder*) dimasukkan secara bersamaan dengan batu bara (sebagai bahan bakar *primer*) ke dalam *boiler* yang sama. Cara ini lebih sering digunakan karena lebih ekonomis.

b) *Indirect co-firing.*

Pada konfigurasi *indirect co-firing*, biomassa diolah melalui proses gasifikasi untuk menghasilkan gas biomassa. Gas ini selanjutnya dimasukkan ke dalam *furnace* dan dibakar secara bersamaan dengan batu bara. Pendekatan ini memungkinkan pemisahan abu dari biomassa dan batu bara dengan tetap mencapai tingkat *co-firing* yang tinggi. Akan tetapi, cara ini memerlukan biaya investasi yang tinggi.

c) *Parallel Co-firing*

*Parallel co-firing* melibatkan pemakain *furnace* dan *boiler* terpisah khusus untuk biomassa. Hasil pembakaran biomassa menghasilkan uap yang dapat digunakan pada sirkuit PLTU *furnace* batu bara. Walaupun cara ini memerlukan investasi yang lebih tinggi daripada *direct co-firing*, tetapi memiliki kelebihan tersendiri. Cara ini memungkinkan penggunaan bahan bakar dengan kandungan logam alkali dan klorin yang tinggi, dan abu dari hasil pembakaran batu bara serta penggunaan biomassa akan lebih fleksibel [9].

Dalam mengukur efisiensi dari proses pembakaran, perlu dilakukan analisis *Specific Fuel Consumption* (SFC). Secara sederhana, SFC mengindikasikan berapa banyak bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan satu unit daya keluaran. Rumus untuk menghitung SFC adalah sebagai berikut [10]:

SFC = Total Fuel ……………………………………….………. (1)

 kWh terbangkit

Dimana:

SFC = *Spesific Fuel Consumption* ( Kg/kWh)

*Total Fuel*= Total Konsumsi Bahan Bakar (Kg)

kWh terbangkit = Total energi yang dihasilkan (kWh)

Nilai SFC juga dapat digunakan untuk menghitung biaya produksi yang diperlukan. Rumus untuk menghitung biaya produksi adalah sebagai berikut:

Biaya Produksi = Harga BB x SFC ………………………….……………..….. (2)

Dimana:

Biaya Produksi = Biaya Komponen C pembangkit ( Rp/kWh)

Harga BB= Total Konsumsi BB (Rp/Kg)

SFC = *Spesific Fuel Consumption* ( Kg/kWh)

Kemudian untuk mengetahui efisiensi keseluruhan pembangkit listrik dapat dilakukan perhitungan menggunakan rumus *Net Plant Heat Rate* (NPHR) sebagai berikut [11]:

NPHR = Pemakaian BB x Nilai Kalori …………………………..…………… (3)

 Gen.Output − Aux.Power

NPHR = *Net Plant Heat Rate* ( Kcal/kWh)

Pemakaian BB= Pemakaian batu bara (Kg) Nilai Kalori= Nilai kalori yang terkandung di bahan bakar ( Kcal/Kg)

Gen. Output= Energi listrik yang dihasilkan oleh generator (kWh)

Aux. Power= Energi listrik yang digunakan untuk pemakaian sendiri(kWh)

# METODE

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data yang berasal dari PLTU Jeranjang OMU. Beberapa tahapan kegiatan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

a. Metode Observasi

Studi Literatur merupakan metode yang digunakan untuk mendapatkan informasi terkait permasalahan pada suatu objek penelitian dengan cara mengamati dan menganalisis secara langsung. Pada penelitian ini, observasi dilakukan di PLTU Jeranjang OMU untuk memahami dampak co-firing terhadap kinerja peralatan boiler CFB. Observasi ini melibatkan pengamatan langsung kegiatan dan proses yang terjadi di lapangan guna mendapatkan data yang akurat dan relevan terkait penelitian ini.

b. Pengambilan dan pengumpulan Data

Teknik pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan secara langsung dengan mengintegrasikan komputer ke dalam jaringan lokal di ruang kontrol. Proses ini melibatkan pemanfaatan perangkat lunak PI Datalink untuk mengakses data dari server PI Vision yang berlokasi di kantor pusat. Server tersebut memiliki koneksi terhubung dengan parameter instrumentasi pada seluruh peralatan boiler.

Adapun beberapa parameter yang diambil meliputi coal flow, beban generator, pemakaian sendiri, arus yang digunakan oleh crusher dan RAF, temperatur pada furnace, serta gas buang dari PLTU. Pengambilan data untuk nilai kalori dilakukan dengan menggunakan bom kalorimeter yang terletak di laboratorium PLTU Jeranjang OMU.

Melalui pendekatan ini, peneliti dapat secara efektif mengakses data secara real-time dari parameter instrumentasi kunci pada peralatan boiler. Penggunaan PI Datalink dan server PI Vision memastikan keakuratan dan konsistensi data, sementara pengambilan data untuk nilai kalori melalui bom kalorimeter di laboratorium menjamin keandalan data terkait dengan kualitas bahan bakar yang digunakan. Integrasi ini memberikan landasan yang solid untuk analisis mendalam dalam lingkup penelitian ini.

# HASIL DAN PEMBAHASAN

**3.1 Analisa Data**

Data yang digunakan berasal dari hasil uji performa *boiler* yang dilaksanakan secara bulanan. Data yang digunakan meliputi:

Tabel 1 Karakteristik Batu Bara

|  |
| --- |
| Batu Bara |
| Moisture | Ash | Volatile | Kalori | Sulfur | Carbon | Hydrogen | Nitrogen |
| 28,105 | 5,03 | 36,705 | 4405,405 | 0,3695 | 46,7 | 6,2 | 0,8135 |
| Biomassa |
| Woodchip | Moisture | Kalori | - | - | - | - | - |
| 31,17 | 2875 | - | - | - | - | - |
| Sawdust | Moisture | Kalori | - | - | - | - | - |
| 9,41 | 4485 | - | - | - | - | - |
| SRF | Moisture | Kalori | - | - | - | - | - |
| 7,91 | 4094 | - | - | - | - | - |



Dari Tabel 1, dapat diketahui kandungan zat dalam bahan bakar yang digunakan pada batu bara dan biomassa. Untuk mencapai efisiensi pembakaran yang lebih tinggi, diharapkan bahan bakar yang digunakan memilik kandungan moisture, ash, sulfur, karbon, dan nitrogen yang rendah, sedangkan kandungan volatile, kalori dan hidrogennya tinggi.

Dari Tabel 2, dapat diketahui jumlah batu bara yang digunakan sebelum dan sesudah dilakukan proses *co-firing*. Hal ini memungkinkan untuk mengetahui kebutuhan batu bara sebelum dan setelah *co-firing* dilakukan. Selain itu, terdapat juga informasi mengenai nilai kalor batu bara dan harga batu bara untuk menilai kualitas batu bara dan biaya produksinya.

Dari Tabel 3, dapat diketahui perbandingan jumlah daya yang dihasilkan oleh generator dengan daya yang digunakan oleh pemakain sendiri sebelum dan setelah penerapan proses *co-firing*. Data ini memungkinkan evaluasi terhadap dampak dari *co-firing* terhadap keseimbangan produksi dan konsumsi energi dalam sistem. Sehingga bisa mendapatkan gambaran mengenai efisiensi dari penerapan *co-firing* dalam proses tersebut.

Tabel 2 Bahan Bakar yang Digunakan Tabel 3 Daya pembangkit PLTU Jeranjang OMU Unit 3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| t | Beban Generator(MW) | Pemakaian Sendiri(MW) | Ket. |
| Sebelum | Proses*(Co-firing)* | Sebelum | Proses*(Co-firing)* |
| 1 | 25,56 | 25,52 | 3,35 | 3,29 | FL 25,5 MW |
| 2 | 25,40 | 25,52 | 3,20 | 3,34 |   |
| 3 | 25,60 | 25,52 | 3,40 | 3,38 |   |
| 4 | 25,60 | 25,52 | 3,39 | 3,40 |   |
| 5 | 25,50 | 25,64 | 3,29 | 3,51 |   |
| 6 | 25,52 | 25,49 | 3,31 | 3,36 |   |
| 7 | 25,54 | 25,52 | 3,34 | 3,38 |   |
| 8 | 25,41 | 25,45 | 3,20 | 3,30 |   |
| 9 | 25,75 | 25,40 | 3,54 | 3,26 |   |
| 10 | 25,71 | 25,52 | 3,51 | 3,37 |   |
| 11 | 25,65 | 25,42 | 3,44 | 3,26 |   |
| 12 | 25,50 | 25,52 | 3,29 | 3,30 |   |
| 13 | 25,40 | 25,44 | 3,19 | 3,16 |   |
| 14 | 25,10 | 25,52 | 2,89 | 3,19 |   |
| 15 | 25,41 | 25,52 | 3,20 | 3,13 |   |
| 16 | 25,65 | 25,51 | 3,44 | 3,28 |   |
| 17 | 25,61 | 25,52 | 3,40 | 3,21 |   |
| 18 | 25,51 | 25,59 | 3,30 | 3,47 |   |
| 19 | 25,29 | 25,52 | 3,08 | 3,37 |   |
| 20 | 25,40 | 25,42 | 3,19 | 3,25 |   |
| 21 | 25,41 | 25,53 | 3,20 | 3,34 |   |
| 22 | 25,51 | 25,51 | 3,31 | 3,30 |   |
| 23 | 25,21 | 24,61 | 3,01 | 3,36 |   |
| 24 | 25,45 | 24,39 | 3,24 | 3,28 |   |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| t | Beban Generator(MW) | Pemakaian Sendiri(MW) | Ket. |
| Sebelum | Proses*(Co-firing)* | Sebelum | Proses*(Co-firing)* |
| 1 | 25,56 | 25,52 | 3,35 | 3,29 | FL 25,5 MW |
| 2 | 25,40 | 25,52 | 3,20 | 3,34 |   |
| 3 | 25,60 | 25,52 | 3,40 | 3,38 |   |
| 4 | 25,60 | 25,52 | 3,39 | 3,40 |   |
| 5 | 25,50 | 25,64 | 3,29 | 3,51 |   |
| 6 | 25,52 | 25,49 | 3,31 | 3,36 |   |
| 7 | 25,54 | 25,52 | 3,34 | 3,38 |   |
| 8 | 25,41 | 25,45 | 3,20 | 3,30 |   |
| 9 | 25,75 | 25,40 | 3,54 | 3,26 |   |
| 10 | 25,71 | 25,52 | 3,51 | 3,37 |   |
| 11 | 25,65 | 25,42 | 3,44 | 3,26 |   |
| 12 | 25,50 | 25,52 | 3,29 | 3,30 |   |
| 13 | 25,40 | 25,44 | 3,19 | 3,16 |   |
| 14 | 25,10 | 25,52 | 2,89 | 3,19 |   |
| 15 | 25,41 | 25,52 | 3,20 | 3,13 |   |
| 16 | 25,65 | 25,51 | 3,44 | 3,28 |   |
| 17 | 25,61 | 25,52 | 3,40 | 3,21 |   |
| 18 | 25,51 | 25,59 | 3,30 | 3,47 |   |
| 19 | 25,29 | 25,52 | 3,08 | 3,37 |   |
| 20 | 25,40 | 25,42 | 3,19 | 3,25 |   |
| 21 | 25,41 | 25,53 | 3,20 | 3,34 |   |
| 22 | 25,51 | 25,51 | 3,31 | 3,30 |   |
| 23 | 25,21 | 24,61 | 3,01 | 3,36 |   |
| 24 | 25,45 | 24,39 | 3,24 | 3,28 |   |

Tabel 4 *Crusher*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Sebelum | Proses (*Co-Firing*) |
| 1 | 188,5 | 266,3 |
| 2 | 190,7 | 271,2 |
| 3 | 188,5 | 265,5 |
| 4 | 189,7 | 286,6 |
| 5 | 192,8 | 273,7 |
| 6 | 188,6 | 266 |

Dari Tabel 4, dapat diketahui bahwa terdapat perubahan arus pada *crusher* sebelum dan sesudah penerapan *co-firing*. Terlihat bahwa rata-rata arus yang digunakan *crusher* cenderung mengalami peningkatan dari 189,8 A menjadi 271,6 A setelah penerapan *co-firing*. *Crusher* berfungsi menghancurkan bahan bakar yang masih berukuran besar menjadi lebih kecil ± 10 mm. Sehingga dapat dikatakan bahwa setelah penerapan *co-firing*, crusher mengalami peningkatan aktivitas operasional untuk mengolah bahan bakar *co-firing* tersebut menjadi lebih sesuai.

Tabel 5 *Boiler Furnace Temprature*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Waktu | Sebelum | Proses *(Co-firing)* |
| TEMP FURNACE (SENSOR TE 102A) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102B) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102C) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102D) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102A) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102B) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102C) | TEMP FURNACE (SENSOR TE 102D) |
| 1 | 928,46 | 926,17 | 931,44 | 935,01 | 924,92 | 921,66 | 927,81 | 932,79 |
| 2 | 927,98 | 926,12 | 930,36 | 934,74 | 924,69 | 921,09 | 928,04 | 932,27 |
| 3 | 928,39 | 926,56 | 932,02 | 934,30 | 926,52 | 923,01 | 927,59 | 933,11 |
| 4 | 930,00 | 927,22 | 935,64 | 937,32 | 925,14 | 922,22 | 927,09 | 933,03 |
| 5 | 933,14 | 929,98 | 936,47 | 938,82 | 927,92 | 925,21 | 928,33 | 934,13 |
| 6 | 930,39 | 927,87 | 934,82 | 939,01 | 930,71 | 928,35 | 932,40 | 938,41 |
| 7 | 930,56 | 926,82 | 934,23 | 936,39 | 926,76 | 923,86 | 928,16 | 933,33 |
| 8 | 929,56 | 927,35 | 933,43 | 935,58 | 926,66 | 923,09 | 928,00 | 934,31 |
| 9 | 931,09 | 928,86 | 934,29 | 938,36 | 925,29 | 922,41 | 928,36 | 934,45 |
| 10 | 930,12 | 926,88 | 934,75 | 939,21 | 928,82 | 924,77 | 929,34 | 935,91 |
| 11 | 933,91 | 931,24 | 938,41 | 940,87 | 928,05 | 924,39 | 928,32 | 933,43 |
| 12 | 938,93 | 934,65 | 942,87 | 946,14 | 928,83 | 925,02 | 931,65 | 936,03 |
| 13 | 927,66 | 925,13 | 931,56 | 934,94 | 923,03 | 919,20 | 924,47 | 931,46 |
| 14 | 928,89 | 927,07 | 933,71 | 936,53 | 924,09 | 920,76 | 925,39 | 929,92 |
| 15 | 931,09 | 929,18 | 935,55 | 938,97 | 925,68 | 920,84 | 926,63 | 933,19 |
| 16 | 930,68 | 928,89 | 935,85 | 939,41 | 927,61 | 923,44 | 929,14 | 934,07 |
| 17 | 933,58 | 930,18 | 936,35 | 941,27 | 928,13 | 924,25 | 929,59 | 933,53 |
| 18 | 936,25 | 932,62 | 937,39 | 940,61 | 932,42 | 927,72 | 933,82 | 938,66 |
| 19 | 925,25 | 923,89 | 928,87 | 933,79 | 923,24 | 919,85 | 925,25 | 929,30 |
| 20 | 927,59 | 925,78 | 931,94 | 935,70 | 924,61 | 919,12 | 923,01 | 929,29 |
| 21 | 927,96 | 926,46 | 930,84 | 934,39 | 923,72 | 917,76 | 922,16 | 928,32 |
| 22 | 928,67 | 924,80 | 930,48 | 934,26 | 924,78 | 920,22 | 923,92 | 929,48 |
| 23 | 935,50 | 932,79 | 939,82 | 942,62 | 921,31 | 918,11 | 921,77 | 925,42 |
| 24 | 933,25 | 930,46 | 935,93 | 940,34 | 916,44 | 912,37 | 917,45 | 921,63 |

Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui bahwa terjadi penurunan suhu rata-rata selama kondisi operasi saat menggunakan campuran batu bara dan biomassa dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar batu bara murni. Data menunjukkan bahwa sebelum implementasi *co-firing*, suhu rata-rata di seluruh sensor adalah 932,83°C. Namun, setelah diterapkan *co-firing*, suhu rata-rata menurun menjadi 926,78°C. Hal ini Terjadi karena adanya penurunan konsumsi rata-rata batu bara oleh furnace *setelah* penerapan *co-firing*, yaitu dari 24,88 ton/jam menjadi 24,14 ton/jam

Tabel 6 *Parameter Cyclone*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Waktu | Sebelum | Proses *(Co-firing)* |
| RAF 1 CURRENT | RAF 2 CURRENT | LEFT PRESSURE RETURNING AIR 1 | LEFT PRESSURE RETURNING AIR 2 | RIGHT PRESSURE RETURNING AIR 1 | RIGHT PRESSURE RETURNING AIR 2 | RAF 1 CURRENT | RAF 2 CURRENT | LEFT PRESSURE RETURNING AIR 1 | LEFT PRESSURE RETURNING AIR 2 | RIGHT PRESSURE RETURNING AIR 1 | RIGHT PRESSURE RETURNING AIR 2 |
| 1 | I/O Timeout | 59,43 | 10,30 | 10,28 | 9,89 | 10,08 | I/O Timeout | 60,02 | 10,46 | 10,44 | 10,08 | 10,24 |
| 2 | I/O Timeout | 59,05 | 10,23 | 10,28 | 9,88 | 10,05 | I/O Timeout | 59,90 | 10,38 | 10,24 | 10,06 | 10,21 |
| 3 | I/O Timeout | 59,41 | 10,30 | 10,15 | 9,94 | 10,10 | I/O Timeout | 60,19 | 10,25 | 10,10 | 10,11 | 10,25 |
| 4 | I/O Timeout | 59,34 | 10,28 | 10,10 | 9,78 | 10,00 | I/O Timeout | 59,98 | 10,36 | 10,23 | 9,98 | 10,20 |
| 5 | I/O Timeout | 59,14 | 10,34 | 10,17 | 9,86 | 10,04 | I/O Timeout | 60,03 | 10,38 | 10,22 | 9,96 | 10,14 |
| 6 | I/O Timeout | 58,82 | 10,29 | 10,18 | 9,73 | 10,01 | I/O Timeout | 59,65 | 10,37 | 10,16 | 9,92 | 10,14 |
| 7 | I/O Timeout | 58,80 | 10,23 | 10,13 | 9,74 | 9,98 | I/O Timeout | 59,65 | 10,56 | 10,36 | 10,06 | 10,30 |
| 8 | I/O Timeout | 58,61 | 10,37 | 10,27 | 9,82 | 10,09 | I/O Timeout | 59,37 | 10,18 | 10,05 | 9,83 | 10,08 |
| 9 | I/O Timeout | 58,71 | 10,22 | 9,99 | 9,84 | 10,05 | I/O Timeout | 59,88 | 10,40 | 10,38 | 10,00 | 10,28 |
| 10 | I/O Timeout | 58,68 | 10,18 | 10,16 | 9,77 | 10,03 | I/O Timeout | 59,83 | 10,36 | 10,15 | 9,80 | 10,10 |
| 11 | I/O Timeout | 58,72 | 10,28 | 10,19 | 9,82 | 10,10 | I/O Timeout | 59,94 | 10,33 | 10,48 | 10,14 | 10,37 |
| 12 | I/O Timeout | 58,93 | 10,35 | 10,20 | 9,88 | 10,09 | I/O Timeout | 60,07 | 10,37 | 10,25 | 9,95 | 10,18 |

Dari tabel 6, dapat diketahui bahwa terdapat peningkatan arus yang digunakan oleh RAF dari 59,12 A menjadi 60,25 A setelah penerapan *co-firing*. Kemudian terlihat bahwa nilai rata-rata *left pressure* dan *right pressure* cenderung mengalami peningkatan dari 10,23 kPa dan 9,96 kPa menjadi 10,38 kPa dan 10,16 kPa setelah penerapan *co-firing*. Sehingga dapat dikatakan bahwa setelah dilakukan penerapan *co-firing*, maka kecepatan aliran gas dan partikel yang masuk ke dalam *cyclone* semakin meningkat yang menyebabkan efisiensi pemisahannya juga semakin tinggi.

Tabel 7 Hasil Perhitungan SFC Tabel 8 Hasil Perhitungan Biaya Produksi Tabel 9 Hasil Perhitungan NPHR

|  |  |
| --- | --- |
| Waktu | Perhitungan NPHR (kcal/kWh) |
| Sebelum | Proses*(Co-firing)* |
| 1 | 4445,601 | 4432,512 |
| 2 | 4127,046 | 4364,495 |
| 3 | 4419,495 | 4438,686 |
| 4 | 4502,752 | 4231,819 |
| 5 | 4383,729 | 4382,205 |
| 6 | 4387,668 | 4321,502 |
| 7 | 4382,715 | 4241,314 |
| 8 | 4336,035 | 4301,415 |
| 9 | 4466,111 | 4429,770 |
| 10 | 4407,683 | 4217,734 |
| 11 | 4390,067 | 4347,489 |
| 12 | 4325,196 | 4208,054 |
| 13 | 4769,348 | 4247,164 |
| 14 | 4456,957 | 4345,380 |
| 15 | 4503,509 | 4496,942 |
| 16 | 4569,024 | 4383,796 |
| 17 | 4449,600 | 4194,341 |
| 18 | 4324,613 | 4390,784 |
| 19 | 4614,009 | 4504,976 |
| 20 | 4542,883 | 4438,453 |
| 21 | 4626,643 | 4340,388 |
| 22 | 4716,178 | 4420,655 |
| 23 | 4548,818 | 4403,483 |
| 24 | 4571,269 | 4460,361 |

|  |  |
| --- | --- |
| Waktu | Perhitungan NPHR (kcal/kWh) |
| Sebelum | Proses*(Co-firing)* |
| 1 | 4445,601 | 4432,512 |
| 2 | 4127,046 | 4364,495 |
| 3 | 4419,495 | 4438,686 |
| 4 | 4502,752 | 4231,819 |
| 5 | 4383,729 | 4382,205 |
| 6 | 4387,668 | 4321,502 |
| 7 | 4382,715 | 4241,314 |
| 8 | 4336,035 | 4301,415 |
| 9 | 4466,111 | 4429,770 |
| 10 | 4407,683 | 4217,734 |
| 11 | 4390,067 | 4347,489 |
| 12 | 4325,196 | 4208,054 |
| 13 | 4769,348 | 4247,164 |
| 14 | 4456,957 | 4345,380 |
| 15 | 4503,509 | 4496,942 |
| 16 | 4569,024 | 4383,796 |
| 17 | 4449,600 | 4194,341 |
| 18 | 4324,613 | 4390,784 |
| 19 | 4614,009 | 4504,976 |
| 20 | 4542,883 | 4438,453 |
| 21 | 4626,643 | 4340,388 |
| 22 | 4716,178 | 4420,655 |
| 23 | 4548,818 | 4403,483 |
| 24 | 4571,269 | 4460,361 |

|  |  |
| --- | --- |
| Waktu  | Perhitungan SFC (Kg/kWh) |
| Sebelum | Proses*(Co-firing)* |
| 1 | 0,9680 | 0,9676 |
| 2 | 0,9042 | 0,9508 |
| 3 | 0,9607 | 0,9650 |
| 4 | 0,9789 | 0,9195 |
| 5 | 0,9569 | 0,9479 |
| 6 | 0,9571 | 0,9404 |
| 7 | 0,9550 | 0,9223 |
| 8 | 0,9500 | 0,9380 |
| 9 | 0,9656 | 0,9679 |
| 10 | 0,9541 | 0,9175 |
| 11 | 0,9526 | 0,9499 |
| 12 | 0,9440 | 0,9182 |
| 13 | 1,0452 | 0,9321 |
| 14 | 0,9882 | 0,9530 |
| 15 | 0,9865 | 0,9888 |
| 16 | 0,9914 | 0,9576 |
| 17 | 0,9671 | 0,9191 |
| 18 | 0,9437 | 0,9514 |
| 19 | 1,0155 | 0,9800 |
| 20 | 0,9954 | 0,9701 |
| 21 | 1,0135 | 0,9456 |
| 22 | 1,0289 | 0,9646 |
| 23 | 1,0042 | 0,9529 |
| 24 | 0,9997 | 0,9674 |

Berdasarkan Tabel 7, 8 dan 9, dapat diketahui bahwa setelah penerapan *co-firing*, terdapat peningkatan efisiensi pembakaran dari nilai rata-rata 0,976 kg/kWh menjadi 0,949 kg/kWh. Sehingga didapatkan penurunan biaya produksi dari 780,876 Rp/kWh menjadi 759,589 Rp/kWh. Kemudian nilai NPHR juga mengalami penurunan dari 4469,456 kcal/kWh menjadi 4355,988 kcal/kWh setelah penerapan *co-firing*.

Tabel 10 Gas buang PLTU

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu |  | Sebelum |  |  |  | Proses ( *Co-firing* ) |  |
| CO2( % ) | CO(ppm) | NO(ppm) | H2s(ppm) | CO2( % ) | CO(ppm) | NO(ppm) | H2s(ppm) |
| 1 | 14,9 | 2 | 211 | 17 | 15,36 | 0 | 146 | 0 |
| 2 | 14,2 | 4 | 182 | 33 | 15,23 | 0 | 151 | 0 |
| 3 | 15,4 | 3 | 159 | 17 | 15,53 | 0 | 152 | 0 |
| 4 | 15,4 | 2 | 155 | 16 | 15,3 | 0 | 156 | 0 |
| 5 | 15,5 | 1 | 156 | 15 | 15,21 | 0 | 159 | 0 |
| 6 | 14,4 | 7 | 139 | 21 | 15,24 | 0 | 159 | 0 |
| 7 | 14,9 | 2 | 154 | 27 | 15,26 | 0 | 164 | 0 |
| 8 | 12,7 | 0 | 196 | 34 | 15,17 | 0 | 167 | 0 |

Berdasarkan Tabel 10, dapat diketahui bahwa rata-rata konsentrasi CO2 mengalami peningkatan dari 14,7% menjadi 15,3%, akan tetapi rata-rata konsentrasi NO mengalami penurunan dari 169 ppm menjadi 156,8 ppm, kemudian rata-rata konsentrasi CO dan H2s juga mengalami penurun dari 0,7 ppm dan 16,1 ppm menjadi 0 ppm, dimana penurunan NO, CO dan H2s dapat mengurangi pencemaran udara yang dapat membahayakan nyawa.

# KESIMPULAN

Terdapat tiga metode *co-firing* yaitu *direct co-firing*, *indirect co-firing* dan *parallel* *co-firing*. PLTU Jeranjang OMU menggunakan metode *direct co-firing*, yaitu dengan mencampurkan langsung batu bara dan biomassa sebelum diumpankan ke *boiler*.

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, terlihat bahwa setelah diterapkan *co-firing,* rata-rata biaya produksinya semakin menurun yaitu dari 780,876 Rp/kWh menjadi 759,589 Rp/kWh seiring dengan meningkatnya rata-rata efisiensi termal yaitu dari 0,976 kg/kWh menjadi 0,949 kg/kWh, dengan efisiensi keseluruhan pembangkitnya juga mengalami peningkatan dari 4469,456 kcal/kWh menjadi 4355,988 kcal/kWh. Hasil perbandingan mengindikasikan bahwa implementasi *co-firing* pada PLTU Jeranjang OMU tidak menunjukkan efektivitas dalam mengurangi emisi gas rumah kaca, akan tetapi rata-rata konsentrasi polutan seperti NO mengalami penurunan dari 169 ppm menjadi 159 ppm. Kemudian rata-rata konsentrasi CO dan H2S juga mengalami penurunan dari 0,7 ppm dan 16,1 ppm menjadi 0 ppm.

##### Ucapan Terimakasih

Terima kasih kami sampaikan kepada Jajaran jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Mataram dan Kepala Pembangkit Jeranjang Lombok Barat yang telah memberikan fasilitas dan keluangan waktu untuk mengarahkan sehingga pelaksanaan penelitan yang dalam rangka PKL ini berjalan dengan baik.

# REFERENCES

[1] P. Pratiwi and Z. Hadi, “Production Process of Steam Power Plant and Calculation of Thermal Efficiency: Case Study of Teluk Sirih Steam Power Plant,” Jurnal Teknik Mesin, vol. 12, no. 1, pp. 26–31, Apr. 2022, doi: 10.21063/jtm.2022.v12.i1.26-31.

[2] K. Trianisa, E. P. Purnomo, and A. N. Kasiwi, “Pengaruh Industri Batubara Terhadap Polusi Udara dalam Keseimbangan World Air Quality Index in India,” JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN, vol. 6, no. 2, pp. 156–168, Dec. 2020, doi: 10.29303/jstl.v6i2.154.

[3] “Lampiran Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2020-2024.”

[4] K. R. Amalia, “Laporan Praktek Kerja Lapangan Sistem Eksitasi Statis pada Generator PLTU Jeranjang Unit 3”. 2016.

[5] Tim Percepatan Komepetensi, Materi *Boiler* PLTU. 2016.

[6] D. Mujiono and Z. A. Akbar, “Analisa Teknik dan Keekonomian Pengolahan Biomassa Sawdust dari Hutan Tanaman Energi (HTE) untuk Mendukung Program *Co-firing* di PLTU Pelabuhan Ratu,” vol. 10, no. 2, pp. 2622–6774, 2023, doi: 10.24036/cived.v10i2.123245.

[7] A. D. Ariyanto and L. Mustakim, “Analisis Pengujian *Co-firing* Biomassa pada PLTU Batubara dengan Beberapa Bahan Bakar Alternatif sebagai Upaya Bauran Energi Baru Terbarukan.” MARTABE : Jurnal Pengabdian Masyarakat, vol. 6, no. 1, pp. 2598–1218, 2023, doi: 10.31604/jpm.v6i1.98-104.

[8] F. Tanbar, S. Purba, A. S. Samsudin, E. Supriyanto, and I. A. Aditya, “Analisa Karakteristik Pengujian *Co-firing* Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal *Boiler* Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy,” Jurnal Offshore, vol. 5, no. 2, pp. 2549–8681, 2021.

[9] I. N. S. Winaya and I. B. A. D. Susila, “*Co-firing* Sistem Fludized Bed Berbahan Bakar Batubara dan Ampas Tebu,” Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 4, no. 2, pp. 180–188, 2010.

[10] Y. Chandra Dwiaji, “Analisis Pengaruh *Co-firing* Biomassa Terhadap Kinerja Peralatan *Boiler* PLTU Batubara Unit 1 PT. XYZ,” vol. 3, no. 1, pp. 8–16, 2023, [Online]. Available: https://journal.isas.or.id/index.php/JAMERE

[11] Yonasdi and S. A. Nainggolan, “Analisa Peningkatan Nilai Net Plant Heat Rate (NPHR) pada Unit 1 PLTU Tenayan 2 x 110 MW,” vol. 8, no. 1, pp. 259–264, 2021