

Pengaruh *Co-Firing* Biomasa Kayu Kaliandra Dan Batu Bara Terhadap Performa Dan Emisi Gas Buang PLTU

Putra Adhitya Frensky Sa'u¹, Jahirwan Ut Jasron^{1*}, Arifin Sanusi¹

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, Lasiana, Kelapa Lima, Nusa Tenggara Timur

*Corresponding author: jahirwan.jasron@staf.undana.ac.id

Abstract

Fossil fuels such as coal still dominate as fuel for power plants worldwide. Using fossil fuels in most power plants can increase greenhouse gas (GHG) emissions, which affect climate change. Biomass is one of the renewable energy sources that is expected to reduce Greenhouse Gas emissions. Biomass energy sources, a mixture of fossil fuels known as co-firing in power plants, have been widely used to reduce dependence on fossil fuels. This study aimed to determine the effect of biomass mixtures on the performance and exhaust emissions of coal-fired power plants. The results show that the mixture's composition and biomass will significantly affect Boiler efficiency. The percentage of biomass composition and the proper combustion settings will be able to produce optimal Boiler efficiency. This study aims to provide an overview of the performance of a power plant that carries out co-firing so that good boiler efficiency is obtained in addition to reducing greenhouse gas emissions. Fossil fuels such as coal still dominate as fuel for power plants worldwide. Using fossil fuels in most power plants can increase greenhouse gas (GHG) emissions, which affect climate change. Biomass is a renewable energy source expected to reduce greenhouse gas emissions. The use of biomass energy sources as a mixture of fossil fuels, known as co-firing in power plants, has been widely done to reduce dependence on fossil fuels. This research will review the influence of biomass mixture on the efficiency of coal power plant boilers. The mixture's composition and the type of biomass used will significantly affect the Boiler's efficiency. The percentage of biomass composition, as well as the proper combustion settings, will be able to produce optimal boiler efficiency. The study in this research is expected to provide an overview of the performance of a power plant that performs co-firing so that in addition to getting the benefits of reducing greenhouse gas emissions, good boiler efficiency is also obtained.

Keywords: *Co-firing, calliandra wood sawdust, PLTU performance, PLTU flue gas.*

Abstrak

Penggunaan bahan bakar fosil seperti batu bara masih mendominasi sebagai bahan bakar Pembangkit Listrik di dunia. Penggunaan bahan bakar fosil pada kebanyakan Pembangkit Listrik dapat meningkatkan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang mempengaruhi perubahan iklim. Biomassa merupakan salah satu dari sumber energi terbarukan yang diharapkan dapat mengurangi emisi Gas Rumah Kaca tersebut. Penggunaan sumber energi biomassa sebagai campuran bahan bakar fosil yang dikenal dengan istilah *co-firing* pada Pembangkit Listrik telah banyak dilakukan untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Tujuan penelitian ini adalah untuk memastikan pengaruh campuran biomassa terhadap performa dan emisi gas buang PLTU batubara. Hasil menunjukkan bahwa komposisi campuran serta jenis biomassa yang digunakan akan sangat berpengaruh pada efisiensi Boiler. Persentase komposisi biomassa serta setting pembakaran yang tepat akan dapat menghasilkan efisiensi Boiler yang optimal. Dari kajian dalam penelitian ini diharapkan akan dapat memberikan gambaran unjuk kerja suatu Pembangkit Listrik yang melakukan *co-firing* sehingga selain mendapatkan keuntungan pengurangan emisi gas rumah kaca juga didapatkan efisiensi Boiler yang baik.

Kata kunci: *Co-firing, sawdust kayu kaliandra, performa PLTU, gas buang PLTU.*

1. Pendahuluan

Penggunaan energi untuk pembangkit listrik di Indonesia masih sangat bergantung pada bahan bakar fosil. Seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. [1]. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca di

Indonesia adalah program *co-firing* biomassa. [2]

Biomassa dapat menjadi sumber energi alternatif pengganti bahan bakar fosil, karena beberapa sifatnya yang menguntungkan yaitu dapat diperbaharui (*renewable resources*), relatif tidak

mengandung unsur sulfur sehingga tidak menyebabkan polusi udara dan juga dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya hutan dan pertanian [3].

Tanaman Kaliandra memiliki tingkat pertumbuhan yang sangat tinggi, mencapai 97,2%. Tingkat pertumbuhan yang signifikan ini menandakan bahwa Kaliandra dapat tumbuh dengan baik di berbagai lokasi dan beragam kondisi iklim. Ketersediaan potensi pertumbuhan yang tinggi pada kayu Kaliandra menunjukkan perlunya pemanfaatan yang optimal untuk keberlanjutan sumber daya tersebut [4]. Terdapat perkiraan bahwa sekitar 2,85 juta hektar dari total 3,5 juta hektar lahan terdegradasi di Indonesia sesuai dan sangat cocok untuk pertumbuhan hutan berbasis kaliandra, dengan potensi produksi mencapai 1,08 EJ/tahun [5].

Co-firing, juga disebut sebagai *co-combustion*, adalah proses membakar dua jenis bahan bakar yang berbeda dalam perangkat pembakaran yang sama, seperti ketel pembangkit uap. Secara umum, *co-firing* dapat diartikan sebagai pembakaran simultan dari dua material bahan bakar yang berbeda. [6]. Ada 3 jenis pencampuran *co-firing* yaitu [7]:

1. *Direct Co-firing* adalah opsi yang paling ekonomis dan paling umum diterapkan. Limbah biomassa yang telah diolah, seperti biopellet atau HT, dicampur melalui peralatan penggiling dan pengumpan yang sama atau terpisah, kemudian dicampur dengan batubara dalam boiler yang sama untuk dibakar, atau menggunakan boiler terpisah.
2. *Indirect co-firing*, biomassa terlebih dahulu digasifikasi menjadi syngas. Keuntungan dari metode ini adalah proses gasifikasi tersebut dapat mengurangi dampak pencemaran yang diakibatkan oleh pembakaran langsung.
3. *Parallel co-firing*, Metode ini memerlukan investasi untuk membangun boiler biomassa terpisah, di mana uap yang dihasilkan akan dimasukkan ke dalam sistem boiler batubara yang sudah ada. Pendekatan ini

memaksimalkan penggunaan biomassa, biasanya dari produk sampingan pabrik kertas seperti kulit kayu dan limbah kayu.

Pada penelitian sebelumnya adanya pengujian *co-firing* dilakukan untuk mengetahui performa PLTU terutama dalam pemakaian daya sendiri [8]. Penelitian lainnya juga berfokus pada analisis efisiensi boiler saat dilakukan *co-firing* tanpa mengukur gas buang yang dihasilkan [9], dan penelitian yang lainnya hanya berfokus pada emisi gas buang saat *co-firing* di PLTU [10].

Berdasarkan alasan di atas maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *co-firing* terhadap performa Pembangkit Listrik Tenaga Uap serta gas buang yang dihasilkan saat *co-firing*.

2. Metode Penelitian

Pengujian dilakukan mulai pukul 10.00 WITA hingga 14.00 WITA dengan menggunakan batu bara dari PLN, dengan nilai kalor 4.036 kCal/kg. Monitoring parameter operasi dilakukan pada setting beban 16,5 MW. Parameter utama atau *critical point* yang akan diamati, yaitu: *Load*, *Coal Flow*, *FEGT (Furnace Exit Gas Temperature)*, *Bed Temperature*, *Pressure Air Chamber*, *Total Air Flow*, *Main Steam Pressure (MSP)*, dan *Main Steam Temperature (MST)*. Presentase yang akan diuji sejumlah 5 variasi campuran atau kondisi yang berbeda, yaitu pengujian 100% batu bara tanpa campuran biomassa, pengujian 5% biomassa kayu kaliandra dan 95% batu bara, pengujian 10% biomassa kayu kaliandra dengan 90% batu bara, pengujian 15% biomassa kayu kaliandra dengan 85% batu bara, pengujian 20% biomassa kayu kaliandra dengan 80% batu bara.

Pengambilan data dimulai dengan persiapan bahan *co-firing* biomassa (kayu kaliandra) yang akan digunakan. Kayu kaliandra yang didapatkan diolah menjadi cacahan dan kemudian dilakukan pengeringan dengan cara penjemuran.

Setelah dilakukan pengeringan dilakukan uji laboratorium (*proximate analysis*). Selanjutnya biomassa kayu kaliandra ke dicampur dengan batu bara. Proses pencampuran biomassa dan batu bara disesuaikan dengan persentase pengujian yang akan dilakukan.

Proses *mixing* biomassa dan batu bara dilakukan dengan cara diaduk secara manual dengan menggunakan *excavator*, batu bara yang digunakan dalam proses *mixing* ini adalah hanya batu bara dengan jenis low rank yang memiliki nilai kalor rendah dan kandungan *sulfur* yang tinggi, setelah memastikan alat dan bahan siap. Pelaksanaan *co-firing* dilakukan pada boiler dengan memasukkan batu bara dan biomassa sesuai prosentase kedalam mesin boiler secara bersamaan dengan beban 16,5 MW. Dalam pengambilan data parameter operasi dan emisi gas buang akan dilakukan selama 5 jam (5 kali), dalam setiap prosentasenya dengan interval pencatatan setiap 60 menit. Setiap persentase yang diuji dilakukan selama 1 hari, sehingga total 5 hari dalam melaksanakan pengujiannya. Pencatatan ters Dalam pengambilan data parameter operasi dan emisi gas buang akan dilakukan selama 5 jam (5 kali), dalam setiap prosentasenya dengan interval pencatatan setiap 60 menit. Setiap persentase yang diuji dilakukan selama 1 hari, sehingga total 5 hari dalam melaksanakan pengujiannya. Pencatatan tersebut dimulai dengan kondisi beban unit stabil 16,5 MW, dari proses pengujian berdasarkan 5 variasi pengujian tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada pengujian *co-firing* ini terdapat 5 variasi persentasi *co-firing* yang akan menjadi parameter pengujian, di mana persentasi variasi *co-firing* dapat dilihat pada Tabel 1.

Implementasi *co-firing* dilakukan pada beban 16,5 MW dengan variasi campuran biomassa dan batu bara yaitu: 0%, 5%, 10%, 15%, 20%. Pengujian ini

mengambil data operasional dari PLTU saat dilakukan *co-firing*.

Table 1. Penggunaan bahan bakar saat *co-firing*

No	Variasi <i>co-firing</i>	Massa batu bara (Kg)	Massa biomassa (Kg)	Massa total bahan bakar <i>mix</i> (Kg)
1	0%	70.000	-	70.000
2	5%	66.500	3.500	70.000
3	10%	63.000	7.000	70.000
4	15%	59.500	10.500	70.000
5	20%	56.000	14.000	70.000

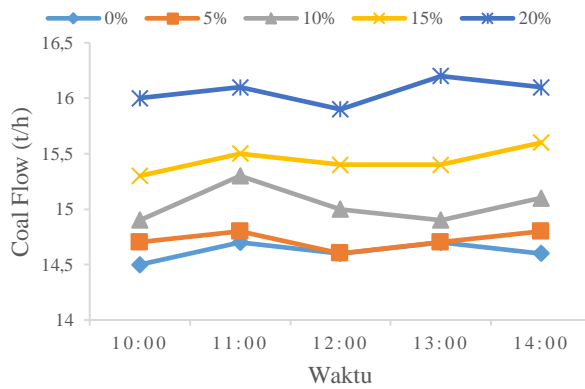
Hasil dari pengolahan data dari pengujian yang diperoleh dari data operasional dapat yakni parameter operasi PLTU dan emisi gas buang yang dihasilkan saat pengujian tersebut, berikut adalah hasil pengolahan data yang dibuat dalam bentuk grafik.

Hubungan Variasi Campuran Biomassa dengan Parameter *Coal Flow*

Berdasarkan hasil pengamatan parameter *coal flow* dari berbagai variasi campuran bahan bakar dalam *co-firing* seperti ditunjukkan pada Tabel 2, dapat diperhatikan bahwa terjadi perubahan yang signifikan dalam *Coal Flow* yang digunakan dalam proses pembakaran. Dari data tersebut, dapat dinyatakan bahwa terjadi peningkatan yang konsisten dalam aliran batu bara seiring dengan peningkatan persentase campuran biomassa dalam *co-firing*. Peningkatan ini mencapai sekitar 9,9% dari variasi persentase 0% ke 20%.

Tabel 2. Pengujian Parameter Operasi

Parameter Operasi	Batasan Normal	Satuan	Pengujian <i>Co-firing</i>				
			0%	5%	10%	15%	20%
<i>Load</i>	16,5	MW	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5
<i>Coal Flow</i>	-	T/h	14,5	14,7	14,9	15,3	16,0
<i>FEGT</i>	700-900	°C	844	847	850	851	840
<i>Bed Temperature</i>	850-970	°C	968	967	963	952	964
<i>Air Chamber Pressure</i>	8,9 - 9,7	kPa	8,7	8,9	8,9	8,9	9,1
<i>Total Air Flow</i>	-	m ³ /h	59,2	59,2	57,6	60,4	60,8
<i>Main Steam Pressure (MSP)</i>	4,80 - 4,90	MPa	4,83	4,81	4,80	4,87	4,80
<i>Main Steam Temperature (MST)</i>	480 - 485	°C	480	484	483	484	481



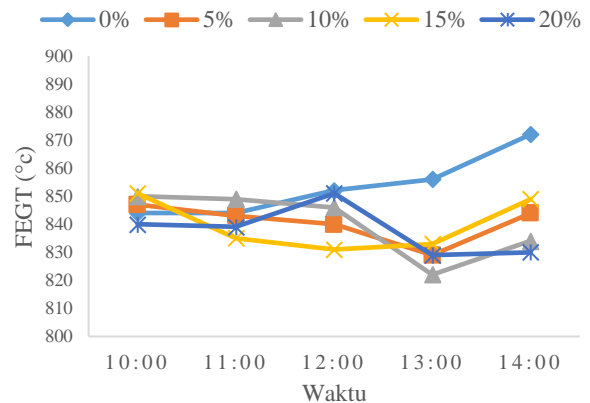
Gambar 1. Hubungan waktu operasi terhadap rata-rata Coal Flow

Gambar 1. Memperlihatkan besar coal flow terhadap waktu operasi. Ketidakstabilan coal flow yang diamati merupakan hasil dari perbedaan nilai karbon antara batu bara dan biomassa. Batu bara memiliki nilai karbon yang lebih tinggi dibandingkan dengan biomassa, yang berarti memiliki potensi energi atau kalori yang lebih besar. Oleh karena itu, semakin tinggi persentase variasi *co-firing*, semakin banyak bahan bakar yang diperlukan untuk menjaga proses pembakaran dalam ruang bakar (*furnace*) [11]. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyimpulkan bahwa peningkatan persentase campuran dalam *co-firing* meningkatkan pemakaian bahan bakar. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Aditya dan rekan-rekannya pada tahun 2022, yang juga menyimpulkan bahwa peningkatan persentase campuran dalam *co-firing* berdampak pada peningkatan pemakaian bahan bakar [12].

Hubungan Variasi Campuran Biomassa dengan Parameter Furnace Exit Gas Temperature

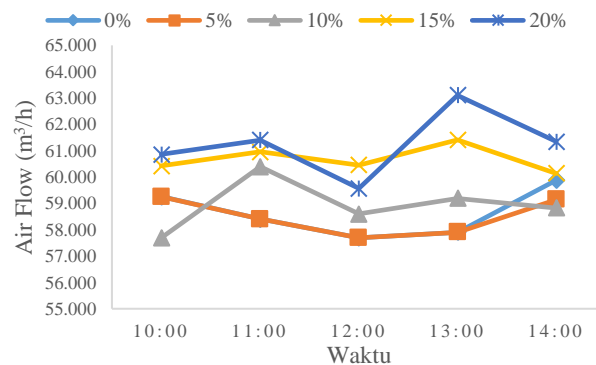
Pada dasarnya, penurunan rata-rata nilai pada parameter *Furnace Exit Gas Temperature* (FEGT) dalam pengujian *co-firing* dibandingkan dengan penggunaan 100% batu bara merupakan fenomena yang cukup kompleks dan melibatkan berbagai faktor yang saling berinteraksi seperti yang disajikan pada Gambar 2. Penurunan suhu dalam pengujian *co-firing* adalah hasil dari interaksi kompleks antara kandungan kalori,

karakteristik sisa pembakaran, dan komposisi kimia dari bahan bakar yang digunakan. [13].



Gambar 2. Hubungan waktu operasi terhadap rata-rata FEGT

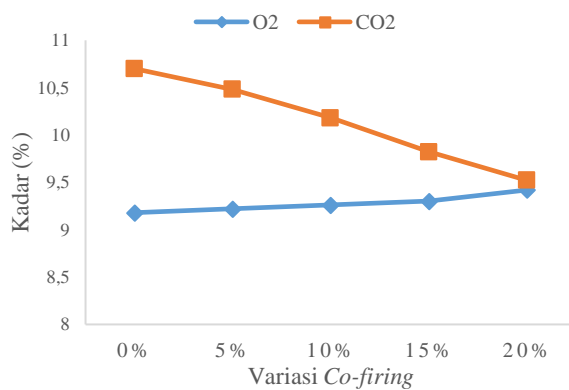
Hubungan Variasi Campuran Biomassa dengan Total Air Flow



Gambar 3. Hubungan waktu operasi terhadap Total Air Flow

Dalam pengujian *co-firing*, terdapat kecenderungan peningkatan penggunaan udara pembakaran seiring dengan peningkatan campuran antara batu bara dan biomassa. Fenomena ini dapat diperhatikan melalui analisis grafik yang menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi campuran bahan bakar, semakin besar total udara pembakaran yang dibutuhkan sebagaimana terlihat pada Gambar 3.. Selain itu, persentase variasi dalam campuran bahan bakar juga memengaruhi efisiensi pembakaran secara keseluruhan. Dengan peningkatan persentase campuran biomassa, kendali yang lebih ketat terhadap suplai udara pembakaran diperlukan untuk memastikan pembakaran yang optimal dan efisiensi yang maksimal. [8].

Hubungan Variasi Campuran Biomassa dengan Oksigen (O₂) dan Karbon Dioksida (CO₂)



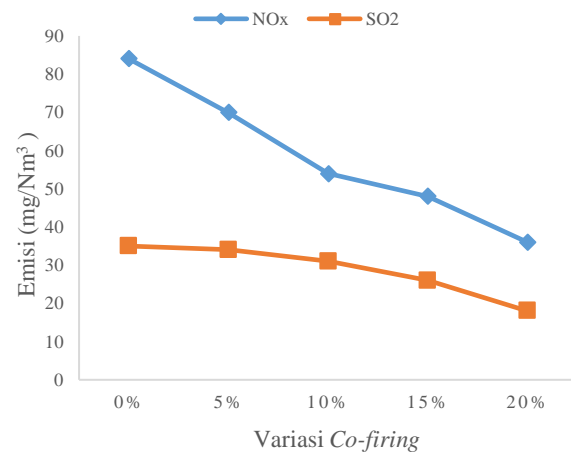
Gambar 4. Hubungan Variasi Co-firing dengan Oksigen (O₂) dan Karbondioksida (CO₂)

Berdasarkan dari grafik yang ditampilkan pada Gambar 4, dapat digambarkan bahwa untuk peningkatan rata-rata emisi oksigen (O₂) dari 9,18% pada penggunaan 100% batu bara menjadi 9,22% pada variasi campuran *co-firing* 5%, mengalami peningkatan lagi pada variasi campuran *co-firing* 10% menjadi 9,26%, pada variasi campuran *co-firing* 15% naik menjadi 9,30%, dan di variasi campuran *co-firing* 20%, naik lagi menjadi 9,42%. Peningkatan tersebut terjadi karena kandungan oksigen pada biomassa lebih tinggi dibandingkan dengan batu bara, selain itu penyebab lainnya juga karena nilai kalori bahan bakar *co-firing* lebih rendah jika di bandingkan dengan 100% batu bara, sehingga diperlukan penambahan jumlah udara pembakaran untuk mengoptimalkan proses pembakaran di ruang bakar (*Furnace*). [14]

Sedangkan untuk karbon dioksida (CO₂) terdapat penurunan emisi CO₂ seiring dengan peningkatan campuran biomassa dan batu bara dalam proses *co-firing*. Dari hasil rata-rata yang didapat, terlihat bahwa pada variasi campuran 0% (100% batu bara), emisi CO₂ mencapai 10,70%. Namun, dengan penambahan campuran biomassa sebesar 5%, 10%, 15%, dan 20%, terjadi penurunan emisi CO₂ menjadi 10,48%, 10,18%, 9,82%, 9,52%. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa adanya campuran biomassa dan batu bara dalam proses pembakaran dapat mengurangi jumlah emisi CO₂. Penurunan ini mungkin disebabkan

oleh karakteristik pembakaran biomassa yang berbeda, serta potensi untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dengan adanya campuran tersebut.

Hubungan Variasi Campuran Biomassa dengan Nitrogen Monoksida (NO_x) dan Sulfur Dioksida (SO₂)



Gambar 5. Hubungan Variasi Co-firing dengan Nitrogen Monoksida (NO_x) dan Sulfur Dioksida (SO₂)

Berdasarkan dari grafik yang dilihat pada Gambar 5, dapat dinyatakan bahwa dalam emisi *Nitrogen Monoksida* (NO_x), rata-rata menunjukkan tren penurunan dari 84 mg/Nm³ saat operasi 100% batu bara, menjadi 70 mg/Nm³ pada pengujian campuran *co-firing* 5%, 54 mg/Nm³ pada *co-firing* 10%, 48 mg/Nm³ pada *co-firing* 15%, dan 36 mg/Nm³ pada variasi campuran *co-firing* 20%. Hasil rata-rata tersebut menunjukkan bahwa hasil positif karena terjadi penurunan emisi yang cukup signifikan.

Dalam emisi SO₂, terdapat penurunan yang terlihat dari penggunaan 100% batu bara ke variasi campuran *co-firing* 5% hingga 20%. Dalam skema penggunaan 100% batu bara, kadar SO₂ sebesar 35 mg/Nm³. Namun, pada penggunaan variasi campuran *co-firing* 5% kadar SO₂ menurun menjadi 34 mg/Nm³. Ketika penggunaan variasi campuran *co-firing* ditingkatkan menjadi 10%, kadar SO₂ turun lagi menjadi 31 mg/Nm³. Pada tingkat variasi campuran *co-firing* 15%, kadar SO₂ turun menjadi 26 mg/Nm³, dan pada penggunaan variasi campuran *co-firing* 20%, kadar SO₂

turun lagi menjadi 18 mg/Nm³. Hal ini terjadi karena biomassa biasanya memiliki kandungan sulfur yang lebih rendah dibandingkan dengan batu bara [15].

Hal ini sesuai dengan standart emisi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang menetapkan baku mutu emisi dengan nilai konsentrasi parameter NO_x dan SO₂ sebesar 200 mg/Nm³. Berdasarkan emisi gas buang yang di peroleh di PLTU Bolok, masih memenuhi batasan baku mutu lingkungan sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 15 Tahun 2019 pada Nomor P.15/MENLHK/SETJEN/KUM.1/4/2019.

4. Kesimpulan

Dalam pantauan parameter operasi dari PLTU Bolok, Kupang pada beban 16,5 MW, menunjukan bahwa penggunaan *co-firing* sebesar 5% hingga 20%, terdapat perubahan parameter operasi, perubahan ini juga mempengaruhi peforma pada PLTU dimana adanya kenaikan pada pemakaian bahan bakar dan Total *Air Flow* seiring dengan kenaikan persetasi *co-firing* tetapi parameter tersebut masih dalam batasan normal operasi. Dalam tahap pengujian *co-firing* 0% sampai 20% beban pada PLTU Bolok dapat mencapai beban puncak 16,5 MW. Pengaruh *co-firing sawdust* kayu kaliandra terhadap emisi gas buang pada campuran batu bara dan biomassa menghasilkan penurunan pada emisi gas buang. Penurunan NO_x yang signifikan sebesar 48 mg/Nm³ dan Penurunan SO₂ sebesar 17 mg/Nm³.

Referensi

- [1] Erlangga, D. Dkk., 2023, Uji Efektivitas Implementasi Biomassa Pelet EFB dan Cangkang Sawit pada Co-Firing di PLTU Tembilahan, *Jurnal Serambi Engineering*, vol. VIII, no. 2, pp. 5376–5382.
- [2] Arisandi, G.F., dan Putra, A.B.K., 2023, Simulasi Cycle Tempo 5.0 Dampak Variasi Rasio Co-Firing Batubara dan Biomassa Jenis Tongkol Jagung terhadap Performa PLTU 400 MW, *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 12, no. 2, pp. 131–137.
- [3] Sidiq, A.N., 2022, Pengaruh Co-Firing Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara, *Kilat*, vol. 11, no. 1, pp. 21–31.
- [4] Pradana, W., and Bunyamin, A., 2021, Pemanfaatan Kayu Kaliandra dan Limbah Teh Sebagai Bahan Baku Biobriket, *Jurnal Teknologi Pertanian Andalas*, vol. 25, no. 1, pp. 114–119.
- [5] Siarudin, M. and Indrajaya, Y., 2020, Adaptation and Productivity of Kaliandra for Biomass Energy Source, *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, no. 1, pp. 1–8.
- [6] Suganal, S. dan Hudaya, G.K., 2019, Bahan bakar co-firing dari batubara dan biomassa tertorefaksi dalam bentuk briket (Skala laboratorium), *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, vol. 15, no. 1, pp. 31–48.
- [7] Praevia, M.F. dan Widayat, 2022, Analisis Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Cofiring pada PLTU Batubara, *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 3, no. 1, pp. 28–37.
- [8] Tampubolon, G.N.P., dan Dwiyanoro, B.A., 2023, Studi Pengaruh Rasio Co-firing Bahan Bakar Batubara dan Biomassa Tertorefaksi Terhadap Performa Boiler, *JURNAL TEKNIK ITS*, vol. 12, no. 3, pp. 178–183.
- [9] Sidiq, A.N., 2022, Pengaruh Co-Firing Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara, *KILAT*, vol. 11, no. 1, pp. 21–31.
- [10] Farras, M., dkk., 2022, Pengaruh Cofiring Menggunakan Serbuk Gergaji Terhadap Emisi Gas Buang di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Batubara, *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurna*, vol. 7, no. 2, pp. 35–39.
- [11] Kawiarso, dkk., 2023, Pengaruh Biomassa Terhadap Efisiensi Boiler

- Pada Pembangkit CFB Batubara Dalam Sistem Co-firing, *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, vol. 9, no. 3, pp. 281–296.
- [12] Aditya, I.A., dkk., 2022, Analisis Pengujian Co-Firing Biomassa Cangkang Kelapa Sawit Pada PLTU Circulating Fluidized Bed (CFB) Sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan, vol. 24, no. 2, pp. 61–66.
- [13] Tanbar, F., dkk., 2021, Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada PLTU Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy.
- [14] Suarga, R.H., dkk., 2023, Analisis CFD Co-firing Biomassa Batok Kelapa Pada Stoker Boiler, *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 11, no. 4, pp. 159–168.
- [15] Cahyo, N., dkk., 2022, Simulasi Karakteristik Co-Firing Sekam Padi pada PLTU Batubara Pulverized Coal Kapasitas 400 MWe, *Rotasi*, vol. 24, no. 2, pp. 43–53.