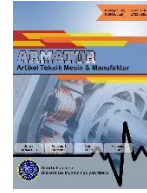


Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Analisis Pengaruh Metode *Co firing* Dengan variasi beban Menggunakan *Sawdust* Terhadap Efisiensi *Boiler* Pada PT. PLN Nusantara Power UP PLTU Indramayu

Dendis Ramadan^{1*}, Muhammad Ridwan²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN, Menara PLN, Jl. Lkr. Luar Barat Lantai 2, RT.1/RW.1, Duri Kosambi, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Jakarta 11750

ARTICLE INFO

Keywords:

Co firing, sawdust, boiler efficiency, PLTU.

ABSTRACT

This research was conducted at PT. PLN Nusantara Power UP PLTU Indramayu to evaluate the impact of co-firing methods using sawdust on boiler efficiency. The standard fuel content used includes ash content $\leq 15\%$ (SNI 13-3478-1994) and moist water content $\leq 12\%$ (SNI 13-3477-1994). The co-firing method, which mixes sawdust with coal, is used to reduce emissions and improve energy efficiency. This study analyzes boiler performance at 300 MW and 311 MW loads with sawdust mixture variations of 1% and 3%. The results show that boiler efficiency decreases when using co-firing compared to coal combustion alone. At a 300 MW load, boiler efficiency decreased from 85.550% (coal firing) to 85.302% (co-firing 1%) and 83.268% (co-firing 3%). At a 311 MW load, efficiency dropped from 86.305% (coal firing) to 85.323% (co-firing 1%) and 84.446% (co-firing 3%). This efficiency decline is due to the quality of the sawdust, an unoptimized mixing ratio, and the instability of sawdust supply. However, the use of sawdust as an additional fuel remains appropriate for reducing coal dependence and carbon emissions. It is recommended that further research be conducted to optimize sawdust

*Corresponding author: dendis2012034@itpln.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i2.7190>

Received 12 September 2024; Received in revised form 28 September 2025; Accepted 28 September 2025

Available online 30 September 2025

Pendahuluan

PT. PLN Nusantara Power UP PLTU Indramayu adalah salah satu pembangkit listrik yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar utama. Batubara dipilih karena ketersediaannya yang melimpah, biaya relatif rendah, dan kemampuannya untuk menyediakan daya secara konsisten. Meskipun demikian, terdapat berbagai kerugian efisiensi dalam proses pembakaran batubara di *boiler*, seperti kerugian radiasi, konveksi, bahan bakar yang tidak terbakar, serta kelebihan oksigen dalam pembakaran. Kerugian-kerugian ini dapat mengurangi efisiensi operasi dan meningkatkan biaya operasional serta dampak lingkungan[1].

Nilai kalor batubara juga berpengaruh terhadap efisiensi *boiler*. Semakin tinggi nilai kalor batubara, semakin tinggi efisiensi *boiler* dalam menghasilkan energi listrik. Di PLTU Indramayu, batubara yang digunakan memiliki nilai kalori antara 3900 kcal/kg hingga 4500 kcal/kg. Selain penggunaan batubara, PLTU Indramayu juga mulai menerapkan *co-firing*, yaitu proses pembakaran campuran batubara dengan biomassa, seperti serbuk kayu (*sawdust*) dan sekam padi[2]. *Co-firing* bertujuan untuk mengurangi penggunaan batubara, mengurangi emisi karbon, dan meningkatkan efisiensi energi.

Proses *co-firing* di PLTU Indramayu menggunakan metode *direct co-firing*, di mana *sawdust* dicampur langsung dengan batubara sebelum dialirkan ke *boiler*. Namun, penerapannya tidak dilakukan secara konstan, melainkan tergantung pada ketersediaan *sawdust*. *Performance test* diadakan secara rutin setiap bulan untuk

mengevaluasi efisiensi *boiler* saat menggunakan campuran batubara dan *sawdust* maupun saat menggunakan batubara saja. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beban terhadap efisiensi *boiler* dalam proses *co-firing* di PLTU Indramayu.

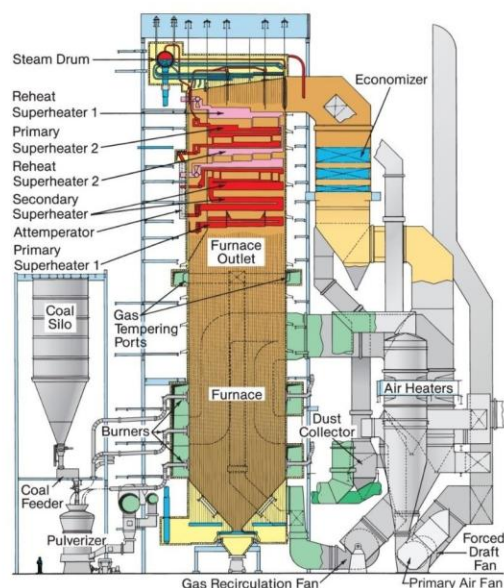
Variasi beban dipilih dalam penelitian ini untuk mengevaluasi pengaruh perubahan kondisi operasional terhadap efisiensi boiler. Pada PLTU, pembangkit tidak selalu beroperasi pada beban penuh karena fluktuasi permintaan listrik, sehingga penting untuk mengamati performa boiler pada tingkat beban yang berbeda. Beban yang lebih tinggi umumnya menawarkan pembakaran yang lebih stabil, namun penerapan *co-firing* dapat menghasilkan variasi dalam efisiensi tergantung pada perubahan beban. Oleh karena itu, variasi beban digunakan untuk menganalisis sejauh mana penggunaan campuran *sawdust* dan batubara mempengaruhi kinerja boiler, serta untuk mengidentifikasi beban operasi yang memberikan efisiensi optimal.

Dengan menganalisis metode *co-firing* menggunakan *sawdust*, penelitian ini akan mengevaluasi apakah terdapat perbedaan spesifik dalam performa mesin serta apakah terdapat penurunan konsumsi bahan bakar akibat penggunaan serbuk gergaji. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi panduan bagi pembangkit listrik tenaga uap lainnya dalam meningkatkan efisiensi *boiler* melalui penggunaan *sawdust* yang optimal.

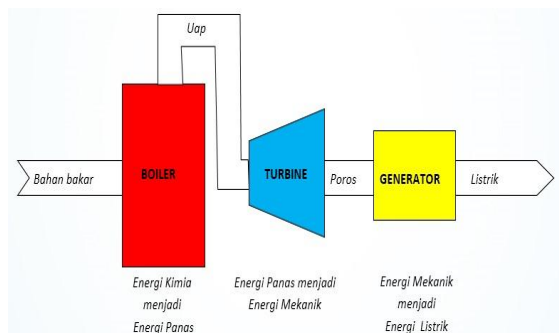
Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

PLTU adalah jenis pembangkit listrik yang paling umum digunakan karena menggunakan bahan bakar fosil batubara

yang jumlah ketersediannya masih cukup banyak dan menjadi pilihan yang ekonomis, PLTU dapat menghasilkan listrik secara kontinu dan stabil[3]. Karena tidak tergantung pada faktor-faktor cuaca seperti tenaga surya atau angin, mesin uap dalam PLTU dapat dioperasikan dengan efisiensi tinggi, menghasilkan lebih banyak Listrik dengan jumlah bahan bakar yang relatif sedikit, dengan sistem bahan bakar menggunakan batubara yang dibakar dalam ruang pembakaran untuk memanaskan air didalam pipa-pipa yang kemudian menjadi uap betekanan tinggi untuk media memutar turbin yang terhubung dengan generator hingga menghasilkan Listrik[4].



Gambar 2 Bagian-Bagian Boiler



Gambar 1 Prinsip Kerja PLTU

Boiler

Boiler (ketel uap) Adalah mesin yang berfungsi sebagai mengubah air menjadi uap panas bertekanan tinggi, proses tersebut dilakukan dengan melakukan pembakaran menggunakan fosil batubara lalu memanaskan pipa-pipa berisi air yang berada didalam boiler, jumlah hasil uap dari boiler dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kapasitas boiler, jenis bahan bakar, tekanan dan suhu, efisiensi perawatan dan juga pengoprasian.

Batubara dan Sawdust Co Firing

Pada penentuan kategori tingkat batubara menurut standar ASTM (American Standart Testing Material), faktor utama adalah persentase karbon terikat dan jumlah kalori yang dihitung dari dasar *Dry Mineral Matter Free*. Nilai kalori mencerminkan jumlah energi yang terkandung dalam batubara, dengan nilai Mengungkapkan bahwa semakin tinggi nilai, semakin baik kualitasnya. yang biasanya tercermin dalam kilap warna dan kekerasan tekstur yang lebih besar[5]. Untuk menghitung efisiensi boiler menggunakan metode *indirect* atau tidak langsung ada 6 tahapan mencari *heatloss* atau rugi-ruginya dari L1 – L6 adalah sebagai berikut:

$$L_1 = \frac{mf \times C_p \times (T_a)}{GCV \text{ Batubara}} \times 100 \quad (1)$$

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{dx} \times 100 \quad (2)$$

$$L_3 = \frac{m \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ Batubara}} \times 100 \quad (3)$$

$$L_4 = \frac{AAS \times Humidity \times C_p (T_f - T_a)}{GCV \text{ Batubara}} \times 100 \quad (4)$$

$$L_5 = \frac{\% CO \times C}{\% CO + \% CO_2} \times \frac{5744}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad (5)$$

$$L_6 = \frac{100}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6) \quad (7)$$

Keterangan:

L1= Gas dari cerobong kering

L2= Penguapan air yang disebabkan oleh H_2 dalam bahan bakar

L3= penguapan kadar air dalam bahan bakar

L4= ada kadar air dalam udara yang digunakan untuk pembakaran

L5= ketidak sempurnaan dalam pembakaran

L6= radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

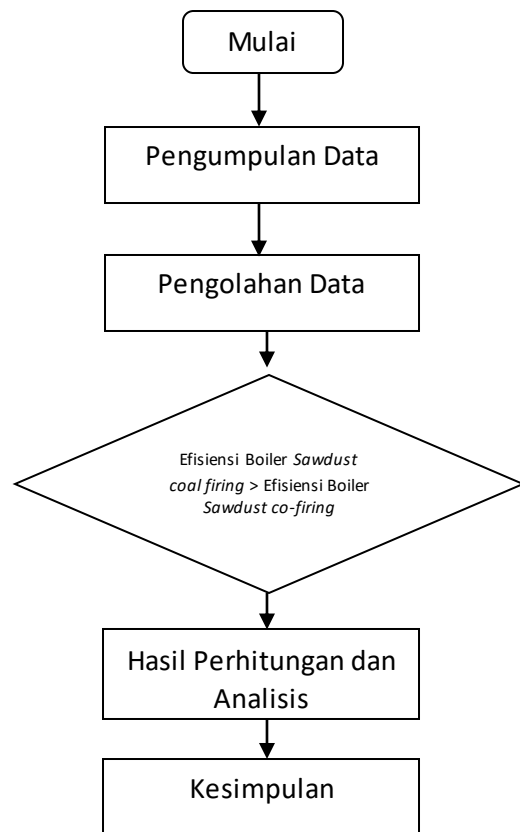
Co-firing, atau pembakaran bersama batubara dan biomassa, telah muncul sebagai solusi untuk mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan batubara. Proses ini melibatkan pembakaran campuran batubara dengan biomassa seperti *sawdust*, sekam padi, atau limbah pertanian, yang dapat mengurangi emisi karbon dioksida dan polutan berbahaya lainnya[6]. Biomassa dianggap sebagai bahan bakar karbon netral, karena CO_2 yang dilepaskan selama pembakaran setara dengan jumlah yang diserap oleh tanaman selama masa pertumbuhannya. Studi menunjukkan bahwa *co-firing* dapat mengurangi emisi CO_2 hingga 20-25%, tergantung pada jenis biomassa yang digunakan dan proporsi campurannya dengan batubara.

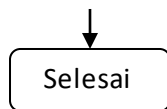
Sawdust co firing yang digunakan di PLTU UP Indramayu adalah campuran 1% dan 3% dimana dalam tahapannya PLTU Indramayu sudah menjalankan program penurunan gas rumah kaca dan *green energy*. Secara bertahap dengan variasi campuran Batubara dan *sawdust co firing*

diharapkan terus meningkat dan salah satu upaya untuk mengurangi ketergantungan batubara yang tinggi dengan mengkombinasikannya[7].

Metode Penelitian

Metode pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan dua pendekatan utama, yaitu pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui observasi terhadap alat ukur dan sistem operasional di UP PLTU Indramayu. Data teknis yang dikumpulkan meliputi sistem operasi *boiler*, analisis batubara, serta tes performa *coal firing* dan *sawdust co-firing*. Di sisi lain, data sekunder mencakup informasi teknis seperti spesifikasi komponen *boiler*, kualitas bahan bakar, kandungan abu, serta data terkait *co-firing* yang didasarkan pada hasil analisis laboratorium dan laporan dari *supplier* batubara terkait nilai kalor





Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa metode pengumpulan data tambahan, termasuk pengarahannya, wawancara, dan studi literatur. Metode penelitiannya dengan pendekatan Kuantitatif dimana dilakukan perhitungan dan analisis membandingkan nilai *sawdust co firing* dan *coal firing* terhadap variasi beban dengan metode *heat loss*. Untuk variasi beban yang digunakan diambil saat *performance test* di beban 300 MW dan 311 MW. Penulis memperoleh pemahaman sistem pembangkit listrik melalui pengarahannya dari dosen pembimbing dan pembimbing lapangan sebelum dan selama penelitian berlangsung. Pengamatan langsung dilakukan di PLTU Indramayu, khususnya pada sistem *boiler* dan distribusi batubara di *Coal Handling*. Selain itu, wawancara dilakukan dengan teknisi dan operator terkait untuk memperoleh data lebih mendalam mengenai efisiensi pembakaran, pengoperasian *boiler*, dan *co-firing*. Studi literatur juga dilakukan dengan membaca manual operasional dan literatur terkait untuk mendukung pemahaman teoritis yang relevan dengan penelitian.

Pengolahan data dalam penelitian ini melibatkan beberapa perhitungan teknis yang berkaitan dengan efisiensi *boiler*. Proses perhitungan meliputi kebutuhan udara teoritis untuk pembakaran, karbon dioksida teoritis, persentase kelebihan udara (*excess air*), jumlah massa udara yang sebenarnya dipasok, serta massa gas buang yang kering. Data ini digunakan untuk menghitung kerugian panas (*heat loss*) akibat berbagai faktor, termasuk *moisture* di bahan bakar dan udara, serta pembakaran yang tidak sempurna. Efisiensi *boiler* kemudian dihitung menggunakan metode

kerugian panas (*indirect method*), yang menekankan pada identifikasi dan pengurangan berbagai kerugian panas yang terjadi selama proses pembakaran.

Metode perhitungan efisiensi *boiler* dilakukan dengan pendekatan tidak langsung atau *heat loss* dengan variasi beban, yang mencakup perhitungan kerugian panas akibat gas buang kering, *moisture* dari pembakaran hidrogen, *moisture* dari batubara, serta kerugian panas akibat radiasi dan konveksi. Langkah-langkah perhitungan ini dirancang untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai efisiensi *boiler* dan area-area di mana kerugian panas dapat diminimalkan. Hasil dari perhitungan ini diharapkan dapat memberikan informasi yang berguna dalam meningkatkan efisiensi operasional *boiler*, terutama dalam konteks implementasi *co-firing* dengan *sawdust*.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data-data *performance test coal firing* pada tanggal 7 Maret 2022 dan 3 Februari 2023 kemudian *Sawdust Co firing 1%* dan 3% pada tanggal 10 Januari 2022, 17 Mei 2022, 2 Maret 2023, dan 15 Mei 2023. Tujuan penelitian Tugas Akhir ini dilakukan untuk mengetahui nilai efisiensi *boiler* PLTU Indramayu unit 1 pada saat *coal firing*, *sawdust co firing 1%*, dan *sawdust co firing 3%*, dengan variasi beban 300 MW dan 311 MW. Dimana nilai persentase *co firing 1%* dan *co firing 3%* ditentukan karena regulasi ketentuan dari pemerintah untuk menurunkan emisi karbon secara bertahap dan pola bauran yang tersedia di pembangkit saat pengujian *performance test*. Pada PLTU Indramayu tidak menggunakan banyak varian, sehingga nilai maksimal 3%. Berikut adalah pembahasan perhitungan dan tahapan perhitungan efisiensi *boiler* PLTU:

- a. Menghitung kerugian panas karena gas buang kering (L1)

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ Batubara}} \times 100$$

$$L_1 = \frac{10,219 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \times 0,225 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \times (129,78^\circ\text{C} - 28,81^\circ\text{C})}{4121 \text{ kcal/kg}} \times 100$$

$$L_1 = 5,628 \%$$

b. Menghitung kerugian panas karena moisture H₂ (L₂)

| No | Parameter Heat Loss | Coal Firing Batubara 100% | Sawdust Co Firing 1% | Sawdust Co Firing 3% | Coal Firing Batubara 100% | Sawdust Co Firing 1% | Sawdust Co Firing 3% |
|---|---|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|
| | | 300 MW | 300 MW | 300 MW | 311 MW | 311 MW | 311 MW |
| | | % | % | % | % | % | % |
| 1 | Gas Buang Kering (L ₁) | 5,628 | 5,866 | 7,086 | 5,578 | 5,573 | 5,207 |
| 2 | Moisture dari pembakaran H ₂ (L ₂) | 7,163 | 7,341 | 7,963 | 6,183 | 6,788 | 5,974 |
| 3 | Moisture di Batubara (L ₃) | 1,12 | 0,935 | 1,065 | 1,394 | 1,779 | 3,839 |
| 4 | Moisture di udara (L ₄) | 0,315 | 0,335 | 0,396 | 0,318 | 0,316 | 0,292 |
| 5 | Pembakaran tidak sempurna (L ₅) | 0,004 | 0,001 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,002 |
| 6 | Radiasi dan Konveksi (L ₆) | 0,220 | 0,220 | 0,220 | 0,220 | 0,220 | 0,220 |
| Total Losses (L _{total}) | | 14,450 | 14,698 | 16,732 | 13,695 | 14,677 | 15,534 |
| Efisiensi Boiler = 100 - L _{total} | | 85,555 % | 85,302 % | 83,268 % | 86,305 % | 85,323 % | 84,446 % |

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{GCV \text{ Batubara}} \times 100$$

$$L_2 = \frac{9 \times 5,03 \% \times (584 + 0,674 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} (129,78^\circ\text{C} - 28,81^\circ\text{C}))}{4121 \text{ kcal/kg}} \times 100$$

$$L_2 = 7,163 \%$$

c. Menghitung kerugian panas dari Batubara (L₃)

$$L_3 = \frac{mm \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{GCV \text{ Batubara}} \times 100$$

$$L_3 = \frac{7,08 \% \times (584 + 0,674 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} (129,78^\circ\text{C} - 28,81^\circ\text{C}))}{4121 \text{ kcal/kg}} \times 100$$

$$L_3 = 1,12 \%$$

d. Menghitung kerugian panas karena moisture di udara (L₄)

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{Humidity} \times C_p(T_f - T_a)}{GCV \text{ Batubara}} \times 100$$

$$L_4 = \frac{9,844 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \times 0,0194 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \times 0,674 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C} (129,78^\circ\text{C} - 28,81^\circ\text{C})}{4121 \text{ kcal/kg}} \times 100$$

$$L_4 = 0,315 \%$$

e. Menghitung Kerugian panas karena pembakaran yang tidak sempurna (L₅)

$$L_5 = \frac{\%CO \times \%C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{GCV \text{ Batubara}} \times 100$$

$$L_5 = \frac{0,000637\% \times 65,77\%}{0,000637\% + 15,13\%} \times \frac{5744}{4121 \text{ kcal/kg}} \times 100$$

$$L_5 = 0,004 \%$$

f. Menghitung Kerugian panas karena radiasi dan konveksi (L₆)

$$L_6 = \frac{ABMA \times (GCV \text{ batubara} + \beta)}{100} \times 100$$

$$L_6 = \frac{0,22\% \times (4121 \text{ kcal/kg} + 0)}{100} \times 100 = 9,066 \text{ kcal/kg}$$

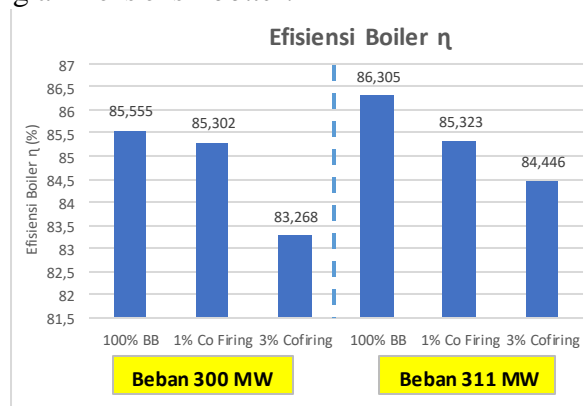
$$\text{atau } L_6 = \frac{9,066 \text{ kcal/kg}}{4121 \text{ kcal/kg}} \times 100 = 0,220 \%$$

$$\text{Total Heat Loss} = (5,628\% + 7,163\% + 1,12\% + 0,315\% + 0,004\% + 0,22\%) = 14,450 \%$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100 - 14,450 \% = 85,550 \%$$

Tabel 1 Hasil Perhitungan Heat Loss dan Efisiensi Boiler

Berdasarkan tabel hasil perhitungan heat loss dan efisiensi boiler menggunakan metode indirect didapatkan hasil perhitungan disajikan dalam gambar 3 grafik efisiensi boiler.



Gambar 4 Grafik Efisiensi Boiler

Pada beban 300 MW, efisiensi boiler dengan pembakaran batubara murni mencapai 85,550%, sementara penggunaan

co-firing dengan 1% *sawdust* menurunkan efisiensi menjadi 85,302%, dan dengan 3% *sawdust*, efisiensi turun lebih signifikan menjadi 83,268%. Pola serupa terjadi pada beban 311 MW, di mana efisiensi boiler dengan batubara murni tercatat sebesar 86,305%, sementara *co-firing* dengan 1% *sawdust* menurunkan efisiensi menjadi 85,323%, dan dengan 3% *sawdust* turun menjadi 84,446%. Penurunan efisiensi ini diakibatkan oleh karakteristik *sawdust* yang memiliki kandungan air dan volatil lebih tinggi dibandingkan batubara, yang meningkatkan kerugian panas dan menurunkan kualitas pembakaran.

Meskipun *co-firing sawdust* dapat mengurangi penggunaan batubara dan emisi CO₂, ada kompromi signifikan dalam hal efisiensi energi. Oleh karena itu, untuk memaksimalkan manfaat lingkungan dan efisiensi energi, diperlukan strategi optimalisasi bahan bakar dan teknologi pembakaran, termasuk pengelolaan kandungan air dan abu dalam biomassa. Optimalisasi ini akan membantu meminimalkan penurunan efisiensi pada boiler yang menggunakan *co-firing* sebagai solusi energi berkelanjutan.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan efisiensi boiler di PLTU Indramayu unit 1 menggunakan metode *indirect (heat loss)* pada *coal firing* dan *sawdust co-firing*, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *sawdust* dalam campuran bahan bakar menurunkan efisiensi boiler pada beban 300 MW dan 311 MW. Pada beban 300 MW, efisiensi menurun dari 85,550% (batubara 100%) menjadi 85,302% (*co-firing 1%*) dan 83,268% (*co-firing 3%*), sedangkan pada beban 311 MW, efisiensi menurun dari 86,305% menjadi 85,323% (*co-firing 1%*) dan 84,466% (*co-firing 3%*). Beberapa faktor yang mempengaruhi penurunan efisiensi tersebut antara lain adalah kerugian panas gas buang yang meningkat pada beban

300 MW seiring bertambahnya persentase *sawdust*, namun cenderung berkurang pada beban 311 MW. *Moisture* dari pembakaran H₂ menurun seiring bertambahnya *sawdust*, sedangkan *moisture* di batubara justru meningkat signifikan, terutama pada campuran *sawdust 3%*. Peningkatan *moisture* ini menjadi salah satu faktor utama penurunan efisiensi. Pembakaran yang tidak sempurna juga mempengaruhi, meskipun nilainya relatif kecil. Radiasi dan konveksi tetap stabil pada kedua beban, sehingga bukan faktor utama dalam penurunan efisiensi. *Pulverizer* yang tidak optimal dalam menggiling bahan bakar menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna, yang berkontribusi pada penurunan efisiensi saat *co-firing sawdust* dilakukan. Selain itu, variasi beban juga mempengaruhi efisiensi, karena perubahan permintaan energi mengubah cara boiler beroperasi.

Referensi

- [1] Agus Tribosonoe, A. (2018). Statistik Ketenagalistrikan T.A. 2018. Jakarta. Retrieved from WWW.DJK.ESDM.GO.IDAlbasha, (2011) Siklus Air Pada PLTU.
- [2] Ariyanto Andi Erwan & Soekardi Chandarsa (2023) Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara Terhadap Efisiensi Boiler Dan Konsumsi Bahan Bakar Unit 1 PLTU Merak Energi Indonesia.
- [3] Fefria, T., Sahrijal, P., Agus, salim, S., (2021) Analisis Karakteristik Pengujian Co firing Biomassa Sawdust Pada PLTU Type Fulferized Coal Boiler Sebagai Upaya Baruan Renewable Energy, Jurnal Offshore, Volume 5 NO 2.
- [4] Ilham, M. F., & Suedy, S. W. A. (2022). Effect of Co firing Using Sawdust on Steam Coal Power Plant Heat Rate Value. Jurnal Energi Baru dan Terbarukan, 3(2), 121-127.

- <https://doi.org/10.14710/jebt.2022.13828>.
- [5] London. Usman. (2012). Pengendalian Kualitas Batubara Dengan Sistem Pencampuran Pada Pt. Bukit Baiduri Energi Site Merandai Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. Universitas 17 Agustus 1945, Samarinda.
- [6] Purba, Yosua m.(2020) Analisa Perbandingan Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat Losses Pada Saat Awal Operasi dan Setelah Overhaul di PT.Pomi Paiton.
- [7] Suprpto, S. (2009). Blending Batubara untuk pembangkit listrik - studi kasus PLTU Suralaya unit 1 - 4. Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara, Vol. 5(13), 31–39.
- [8] M.Raut, S., Kumbhare, S. B., & Thakur, K. C. (2014). *Energy Performance Assessment of Boiler at P.S.S.K. Ltd, Basmathnagar, Maharashtra State. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 4(12), 1–12. <https://doi.org/10.5507/fot.2011.009>
- [9] Fefria, T., Sahrijal, P., Agus, salim, S., (2021) Analisis Karakteristik Pengujian Co firing Biomassa Sawdust Pada PLTU Type Fulferized Coal Boiler Sebagai Upaya Baruan Renewable Energy, Jurnal Offshore, Volume 5 NO 2.
- [10] Wahyono, & Teguh, H. (2015). Penggunaan mix coal terhadap efisiensi pembangkit dan biaya produksi listrik (bpl) di pltu tanjung jati b unit 3. EKSERGI Jurnal Teknik Energi, 11(2), 53–60.