

## PENGARUH PERSENTASE KANDUNGAN BIOMASSA SAWDUST PADA *CO-FIRING* BATU BARA TERHADAP TEMPERATUR GAS BUANG *BOILER*

\*Muhammad Aditya Nugraha<sup>1</sup>, Muchammad<sup>2</sup>, M.S.K. Tony Suryo Utomo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [madityanugraha.man@gmail.com](mailto:madityanugraha.man@gmail.com)

### Abstrak

Sebagai negara dengan jumlah penduduk yang besar, kebutuhan energi di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi. Batu bara masih menjadi sumber energi utama dalam sektor pembangkitan listrik. Namun, ketergantungan terhadap batu bara harus dikurangi mengingat dampak negatifnya terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat akibat emisi karbon dan polusi udara. Salah satu inovasi untuk mengurangi konsumsi batu bara adalah penerapan metode *co-firing* biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan biomassa *sawdust* pada pembakaran *co-firing* terhadap temperatur gas buang *boiler*. Studi ini dilakukan menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan perangkat lunak Ansys Fluent untuk mensimulasikan berbagai variasi persentase *co-firing sawdust* dan dampaknya terhadap karakteristik pembakaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase *sawdust* dalam proses *co-firing* menyebabkan penurunan temperatur rata-rata gas buang di sisi *outlet boiler*. Hal ini disebabkan oleh turunnya total nilai kalor dari campuran bahan bakar *co-firing* seiring dengan meningkatnya kandungan *sawdust*. Selain itu, hal ini terjadi karena kandungan *volatile matter* pada *sawdust* yang lebih tinggi dibandingkan dengan batu bara sehingga *sawdust* lebih reaktif dan terbakar lebih cepat dan tidak bisa menaikkan temperatur pembakaran setinggi batu bara ketika dibakar. Hasil penelitian ini memberikan wawasan penting mengenai performa termal pada proses *co-firing* biomassa dalam *boiler* berbahan bakar batu bara. Dengan memahami pengaruh *sawdust* terhadap temperatur gas buang, penelitian ini berkontribusi pada optimasi strategi *co-firing* untuk mendukung produksi energi yang lebih bersih dan berkelanjutan.

**Kata kunci:** *co-firing*, *computational fluid dynamics* (cfd), *pulverized-coal boiler*, *sawdust*, temperatur gas buang

### Abstract

Indonesia, as a large population country, faces a increasing energy demand. The national energy consumption is expected to rise in line with economic growth. To meet this demand, coal remains a dominant energy source, particularly in the power generation sector. However, excessive coal consumption posses significant environmental and health risks due to high carbon emissions and air pollution. Therefore, innovative strategies are required to reduce coal dependency, one of these solutions is biomass *co-firing*. This study aims to analyze the effect of biomass *sawdust* addition in *co-firing* combustion on the flue gas temperature of a boiler. The research was conducted using a *Computational Fluid Dynamics* (CFD) approach, utilizing Ansys Fluent software to simulate various *sawdust co-firing* percentages and their impact on combustion characteristics. The results indicate that an increase in the *sawdust* percentage in the *co-firing* process leads to a decrease in the average flue gas temperature at the boiler outlet. This is attributed to the lower total heating value of the *co-firing* fuel mixture as the *sawdust* proportion increases. Furthermore, this phenomenon occurs due to the high *volatile matter* content in *sawdust* compared to coal, which makes *sawdust* more reactive and burns more quickly and the combustion process does not sustain high furnace temperatures as effectively as when only coal is used. These findings provide valuable insights into the thermal performance of biomass *co-firing* in coal-fired boilers. By understanding the impact of biomass *sawdust* on flue gas temperature, this study contributes to the optimization of *co-firing* strategies for cleaner and more sustainable energy production.

**Keywords:** *co-firing*; *computational fluid dynamics* (cfd); *flue gas temperature*; *pulverized-coal boiler*; *sawdust*

### 1. Pendahuluan

Sebagai negara dengan jumlah penduduk yang sangat banyak hingga mencapai 280 juta jiwa [1], kebutuhan akan energi masyarakat Indonesia harus dipenuhi. Konsumsi energi nasional diperkirakan akan terus bertambah seiring dengan

pertumbuhan ekonominya. Meskipun tingkat ketahanan energi nasional Indonesia masih dalam kategori aman, yaitu dengan nilai 6,64 [2], tetapi Indonesia masih sangat bergantung kepada sumber energi fosil (seperti batu bara) untuk memenuhi kebutuhan energi dalam negeri tersebut, terutama untuk memenuhi kebutuhan listrik nasional. Konsumsi batu bara untuk pemenuhan sektor pembangkit listrik diperkirakan akan terus meningkat.

Masih dominannya penggunaan batu bara sebagai sumber energi pembangkit listrik di Indonesia disebabkan karena harganya yang relatif murah dan ketersediaan sumber dayanya yang sangat melimpah di Indonesia. Meskipun begitu, ketergantungan penggunaan batu bara ini harus diminimalkan mengingat dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan masyarakat yang sangat signifikan. Berbagai emisi gas rumah kaca ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) dan polutan udara ( $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , PM) dihasilkan oleh pembangkit listrik berbasis batu bara [3]. Emisi karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) berkontribusi secara signifikan dalam terjadinya efek rumah kaca (*greenhouse effect*) dan peningkatan temperatur atmosfer [4]. Oleh sebab itu, diperlukan sebuah inovasi untuk mengurangi penggunaan batu bara dalam sektor pembangkit listrik.

Salah satu inovasi dalam upaya pengurangan penggunaan batu bara adalah dengan menerapkan metode *co-firing* biomassa. Metode *co-firing* merupakan metode penambahan biomassa ke dalam proses pembakaran di dalam boiler sebagai bauran bahan bakar batu bara. Seperti halnya batu bara, biomassa juga mengandung energi yang bisa digunakan untuk memanaskan fluida kerja. Salah satu jenis biomassa yang banyak digunakan sebagai pilihan utama untuk melakukan metode *co-firing* pada PLTU yang ada di Indonesia adalah biomassa serbuk gergaji (*sawdust*).

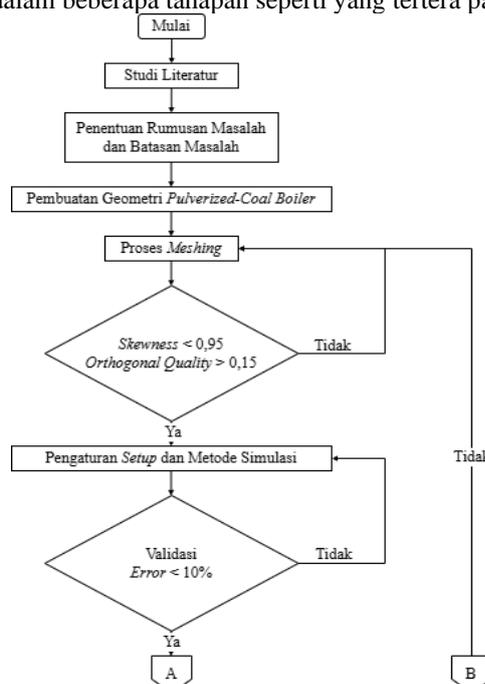
Serbuk gergaji (*sawdust*) merupakan limbah yang dihasilkan dari proses penggergajian kayu dan tidak memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena tidak dapat menghasilkan produk yang bernilai jual [5]. Akan tetapi, sebagai limbah biomassa, *sawdust* memiliki potensi yang besar untuk dimanfaatkan dalam sektor energi, terutama sebagai bahan bakar alternatif pada sistem pembangkitan listrik. Dengan nilai kalor (*heating value*) yang cukup tinggi, *sawdust* dapat digunakan dalam bahan bakar *co-firing*. Selain itu, *sawdust* memiliki kandungan abu (*ash*) yang lebih rendah sehingga dapat mengurangi jumlah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran [6]. Oleh karena itu, biomassa *sawdust* dipilih sebagai biomassa *co-firing* pada penelitian kali ini.

Dalam sistem PLTU, Indonesia mengandalkan boiler berjenis *pulverized-coal boiler* (PCB) untuk memenuhi kebutuhan pasokan listrik nasional. Pemerintah Indonesia menargetkan total kapasitas listrik terpasang dihasilkan melalui PCB sebesar 86% hingga tahun 2025. PCB merupakan jenis boiler yang menggunakan batu bara yang telah dihaluskan (*pulverized-coal*) sebagai bahan bakar yang diinjeksikan melalui burner. Partikel yang lebih halus ini membuatnya menjadi lebih cepat terbakar sehingga pembakaran akan lebih sempurna dan pembentukan jelaga (*soot*) serta karbon monoksida dalam gas buang juga akan berkurang [7]. Alasan lain mengapa PCB banyak digunakan adalah karena efisiensi termalnya yang cukup tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Lakshmi dan Kisore [8] menjelaskan bahwa nilai efisiensi termal dari PCB yang diteliti berkisar antara 84%-94%. Nilai efisiensi termal yang tinggi menandakan efisiensi pembakaran yang tinggi pula. Oleh sebab itu, penelitian kali ini menggunakan boiler berjenis PCB sebagai geometri simulasi.

## 2. Bahan dan Metode Penelitian

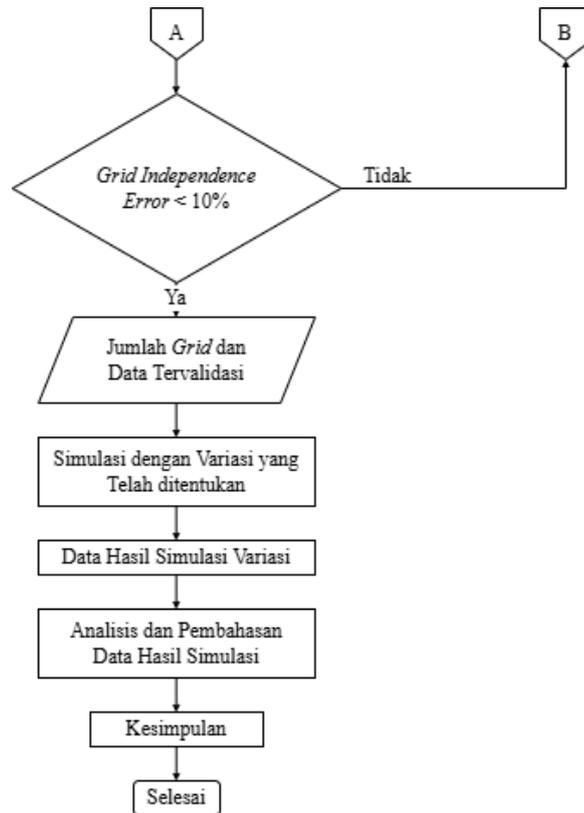
### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian kali ini dilakukan dalam beberapa tahapan seperti yang tertera pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

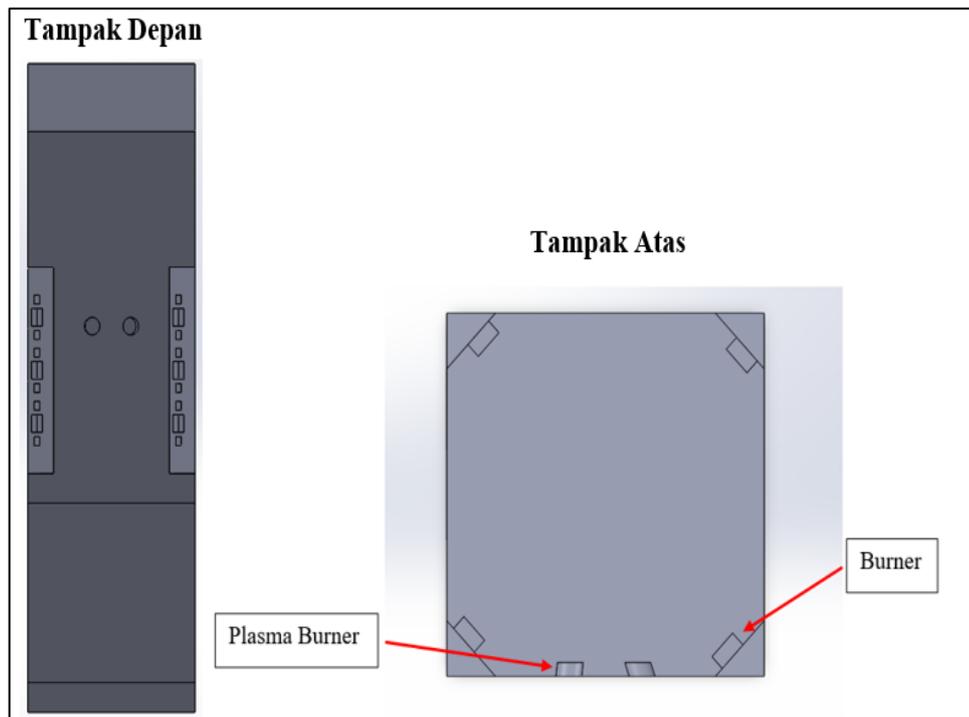
Setelah *error* validasi dari seluruh parameter sudah di bawah 10% maka bisa dilanjutkan ke tahapan yang tertera pada Gambar 2 berikut.



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian (Lanjutan)

## 2.2 Geometri dan *Meshing*

Geometri yang digunakan pada simulasi ini adalah *pulverized-coal boiler*. Gambar 3 menunjukkan geometri tersebut.



**Gambar 3.** Geometri *Pulverized-Coal Boiler* pada Simulasi

Geometri boiler tersebut terdiri dari 2 plasma burner, 12 burner, 24 secondary air, dan 4 Separated Over-Fire Air (SOFA). Adanya SOFA di kedua sisi samping boiler berfungsi untuk mengurangi pembentukan gas nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ). Untuk dimensi keseluruhan dari boiler tersebut disajikan pada Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Dimensi *Pulverized-Coal Boiler*

Besaran	Ukuran (m)
Lebar Boiler	6,5
Tinggi Boiler	22
Kedalaman Boiler	6,5
Diameter Plasma Burner	0,6
Dimensi Burner	0,5 x 0,5
Dimensi Secondary Air	0,3 x 0,3
Dimensi SOFA	0,75 x 0,25

### 2.3 Asumsi dan Pemodelan

Untuk memodelkan fenomena pembakaran *co-firing* pada *pulverized-coal boiler* digunakan beberapa asumsi dan pemodelan pada simulasi. Simulasi menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) pada penelitian ini menggunakan *software* Ansys Fluent.

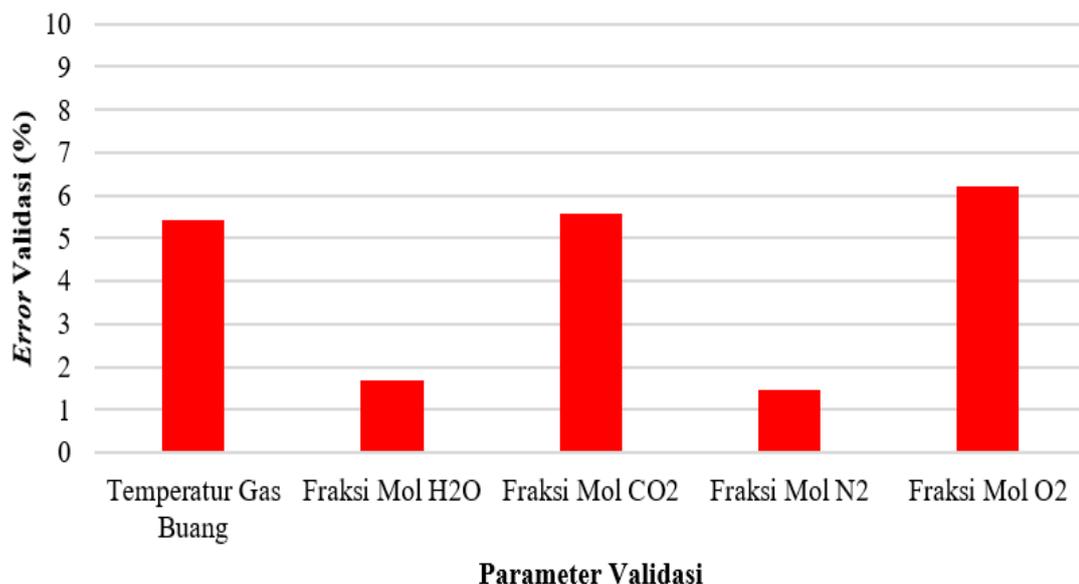
Aliran fluida diasumsikan inkompresibel dan dalam kondisi *steady-state*. Aliran gas dimodelkan dengan menggunakan pendekatan Eulerian sedangkan injeksi batu bara dan *sawdust* menggunakan pendekatan Lagrangian. Metode Lagrangian merupakan metode pendekatan yang memodelkan aliran fluida sebagai fase diskret/partikel-partikel individual yang persamaan gerak dan sifat alirannya dihitung pada setiap partikel tersebut [9]. Suatu fluida dapat dikatakan dalam keadaan fase diskret jika fraksi volumenya berada di bawah nilai 0,1 [10].

Fenomena perpindahan panas diperhitungkan dengan mengaktifkan Energy Modelling. Kemudian, fenomena turbulensi pada aliran fluida dalam boiler dimodelkan dengan  $k-\epsilon$  Realizable modelling. Selain itu, oleh karena reaksi pembakaran dalam boiler melibatkan berbagai spesies maka pemodelan Species Transport juga digunakan pada simulasi ini untuk mengetahui karakteristik pembakaran *co-firing* berdasarkan fraksi mol beberapa spesies yang dihasilkan.

### 2.4 Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk memastikan bahwa *setting* simulasi yang digunakan sudah benar dan sesuai dengan sumber validasi. Uji validasi terpenuhi jika nilai *error* antara hasil simulasi dengan sumber validasi berada di bawah 10%. Uji validasi pada penelitian kali ini menggunakan parameter temperatur gas buang dan fraksi mol fraksi mol spesies dari gas buang ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ , dan  $\text{H}_2\text{O}$ ) pada gas buang. Sumber validasi penelitian kali ini berasal dari penelitian yang telah dilakukan oleh Pawlak-Kruczek dkk. [11]. Hasil dari uji validasi dapat dilihat pada grafik batang yang disajikan pada Gambar 4 berikut. Dari grafik ini dapat dilihat bahwa keseluruhan parameter memiliki nilai *error* di bawah 10% sehingga *setting* simulasi bisa dikatakan memenuhi uji validasi.

## Hasil Uji Validasi

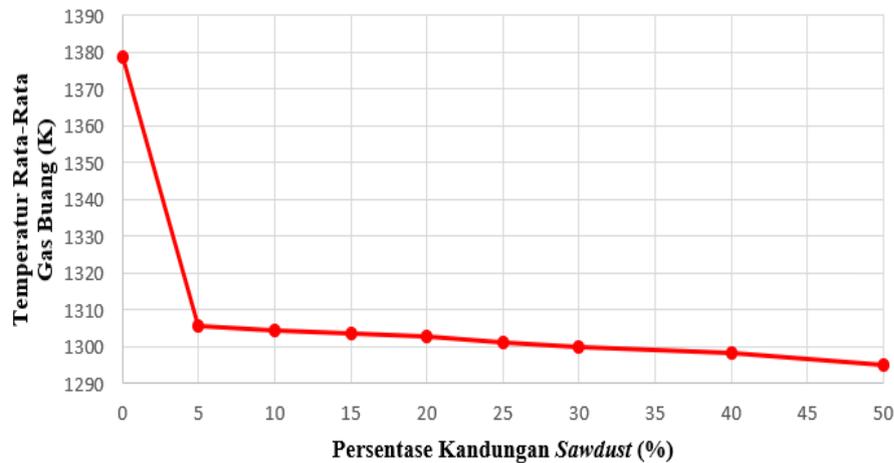


**Gambar 4.** Grafik Hasil Uji Validasi

### 3. Hasil dan Pembahasan

Temperatur gas buang dapat menunjukkan performa dari suatu *boiler*. Makin rendah temperatur gas buangnya maka performa dari *boiler* makin bagus karena menunjukkan panas hasil pembakarannya banyak yang diserap oleh pipa-pipa pemanas untuk menguapkan fluida kerja. Gambar 5 menunjukkan grafik temperatur rata-rata gas buang di sisi *outlet* pada tiap variasi persentase *sawdust*.

**Grafik Hubungan Kandungan *Sawdust* dengan Temperatur Gas Buang**



**Gambar 5.** Grafik Hubungan Kandungan *Sawdust* Terhadap Temperatur Rata-Rata Gas Buang

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan persentase *sawdust* ke dalam bahan bakar *co-firing* menyebabkan penurunan temperatur rata-rata dari gas buangnya. Hal ini disebabkan karena nilai kalor (*heating value*) dari *sawdust* lebih rendah dibandingkan *pulverized-coal* sehingga membuat total nilai kalor bahan bakar *co-firing* menjadi lebih rendah yang berakibat pada penurunan temperatur rata-rata gas buang.

### 4. Kesimpulan

Berdasarkan simulasi CFD yang telah dilakukan pada penelitian kali ini didapatkan kesimpulan bahwa kenaikan persentase *sawdust* pada metode *co-firing* menyebabkan penurunan temperatur rata-rata gas buang di sisi *outlet boiler*. Hal ini disebabkan karena total nilai kalor (*heating value*) dari bahan bakar *co-firing* makin rendah seiring penambahan persentase *sawdust*. Selain itu, hal ini disebabkan karena kandungan *volatile matter* pada *sawdust* yang lebih tinggi dibanding batu bara. Kandungan *volatile matter* yang tinggi menyebabkan *sawdust* menjadi lebih cepat terbakar (reaktif) sehingga tidak dapat menaikkan temperatur ruang bakar setinggi ketika batu bara dibakar.

### 5. Daftar Pustaka

- [1] Badan Pusat Statistik. Jumlah Penduduk Pertengahan Tahun (Ribuan Jiwa), 2022-2024 [Internet]. 2024. Available from: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTk3NSMy/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun--ribu-jiwa-.html>
- [2] Siswanto D. TRANSISI ENERGI BERKEADILAN DI INDONESIA: “MENINGKATKAN PERAN PEMERINTAH DAERAH.” 2024.
- [3] Triatmojo P, Hadinata F, Sari TI. Environmental Impact Analysis in 3×10 MW Coal Fired Power Plant Through Life Cycle Assessment. *Ecol Eng Environ Technol*. 2024;25(7):308–21.
- [4] Aktar S, Abdullah M, Sayed A, Golam SM. Impacts of Coal-Fired Power Plant Emissions on the Environment: A Bangladesh Perspective. 2024;48(2):1960–76.
- [5] Ilham MF, Suedy SWA. Effect of Cofiring Using Sawdust on Steam Coal Power Plant Heat Rate Value. *J Energi Baru dan Terbarukan*. 2022;3(2):121–7.
- [6] Tanbar F, Purba S, Samsudin AS, Supriyanto E, Aditya IA, Pln PT, et al. Analisa Karakteristik Pengujian Co-Firing Biomassa Sawdust Pada Pltu Type Pulverized Coal Boiler Sebagai Upaya Bauran Renewable Energy. *J Offshore*. 2021;5(2):2549–8681.
- [7] Arsyada D, Wiratama C. Pulverized Coal Fired (PCF) Boilers [Internet]. *aeroengineering.co.id*. 2022 [cited 2024 Nov 26]. Available from: <https://www.aeroengineering.co.id/2022/11/pulverized-coal-fired-pcf-boilers/>
- [8] Lakshmi VV, Kishore PS. Thermal efficiency of pulverized fuel boiler. *Iarjset*. 2015;(January 2015):45–9.
- [9] Azarpira M, Zarrati AR, Farrokhzad P. Comparison between the Lagrangian and Eulerian approach in simulation of free surface air-core vortices. *Water (Switzerland)*. 2021;13(5).

- 
- [10] Zahari NM, Zawawi MH, Sidek LM, Mohamad D, Itam Z, Ramli MZ, et al. Introduction of discrete phase model (DPM) in fluid flow: A review. AIP Conf Proc. 2018;2030(November).
- [11] Pawlak-Kruczek H, Mularski J, Ostrycharczyk M, Czerep M, Baranowski M, Mączka T, et al. Application of plasma burners for char combustion in a pulverized coal-fired (PC) boiler – Experimental and numerical analysis. Energy. 2023;279(May).