

PEMODELAN NUMERIK PENGARUH *CO-FIRING WOOD PELLET* PADA TEMPERATUR PEMBAKARAN DAN EMISI CO₂ PADA BOILER STOKER

*Daffa Prahananda¹, M.S.K Tony Suryo Utomo², Eflita Yohana²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: prahanandadaffa@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya penggunaan bahan bakar fosil dapat menyebabkan peningkatan gas rumah kaca yang berdampak buruk bagi lingkungan. Untuk mengurangi dampak buruk ini dapat digunakan bahan bakar dari sumber energi alternatif seperti biomassa. *Co-firing* biomassa menjadi salah satu solusi yang sering digunakan untuk meningkatkan porsi penggunaan energi terbarukan. *Co-firing* memiliki keuntungan pengaplikasian yang mudah dan murah. Aspek yang harus diperhatikan ketika melakukan *co-firing* adalah temperatur tungku dan emisi gas buang. Penelitian ini menggunakan metode simulasi *computational fluid dynamic* dengan model turbulensi k-epsilon realizable. Beberapa parameter dalam penelitian ini meliputi temperatur pada tungku, dan emisi gas CO₂ pada tungku boiler stoker. Hasil penelitian ini menunjukkan penurunan suhu tungku sebesar 9.3% akibat pembakaran *co-firing*, dan CO₂ meningkat sebesar 65%

Kata kunci: biomassa; *co-firing*; *wood pellet*

Abstract

The increased use of fossil fuels can lead to a rise in greenhouse gases, which have detrimental effects on the environment. To mitigate these adverse effects, alternative energy sources such as biomass can be used. Biomass *co-firing* is one commonly used solution to increase the share of renewable energy. *Co-firing* offers the advantages of easy and cost-effective application. Key aspects to consider when conducting *co-firing* are furnace temperature and exhaust gas emissions. This study employs computational fluid dynamics simulation methods with a realizable k-epsilon turbulence model. Several parameters in this study include furnace temperature and CO₂ emissions in the stoker boiler furnace. The results of this study show a 9.3% decrease in furnace temperature due to *co-firing* combustion and a 65% increase in CO₂ emissions.

Keywords: biomass; *co-firing*; *wood pellet*

1. Pendahuluan

Peningkatan jumlah penduduk dan urbanisasi menyebabkan peningkatan konsumsi energi yang tinggi di Indonesia. Pada periode 2015 – 2021 tercatat peningkatan konsumsi listrik di Indonesia dari 232.447,11 GWH menjadi 305.627,28 GWH atau meningkat sebesar 23.94% [1]. Peningkatan ekonomi dan kegiatan manusia ini menyebabkan meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer [2]. Sumber bahan bakar pembangkit di Indonesia masih didominasi oleh batubara sebesar 37,625, diikuti oleh minyak bumi dan turunannya dengan 33,40% dan gas alam sebesar 16,82%. Sedangkan sumber energi dari EBT hanya sebesar 12,16% [3]. Total bauran energi terbarukan dalam total bauran energi nasional ditargetkan meningkat menjadi 23% pada tahun 2025 [4]. Salah satu bahan bakar yang dapat dimanfaatkan adalah biomassa padat. Biomassa padat merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang terdiri dari bahan baku organik non-fosil yang dapat digunakan untuk menghasilkan panas atau tenaga [5]. Salah satu jenis biomassa padat ini adalah *wood pellet*. *Wood pellet* adalah salah satu biomassa dari sumber kehutanan dan limbah bahan bakar kayu. Proses pemadatan yang dilakukan dalam pembuatan pellet menyebabkan meningkatnya nilai kalori dari *wood pellet*. Produksi biomassa kayu di Indonesia berasal dari tiga pulau, yaitu Sumatera, Maluku, dan Papua. Dengan total produksi biomassa kayu sebesar 2.771,41 m³ pada tahun 2022.

Co-firing merupakan penggunaan dua atau lebih bahan bakar dalam perangkat pembakaran yaitu boiler yang sama [6]. Dengan sedikit mengubah prasarana boiler berbahan bakar batubara, biomassa *co-firing* dapat menjadi pendekatan jangka pendek dikarenakan praktis dan murah [7]. Untuk membakar campuran batubara dan biomassa dapat dilakukan beberapa cara diantaranya *direct co-firing*, *indirect co-firing*, dan *parallel co-firing* [8].

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian ini diawali dengan mengambil data analisis *proximate* dan *ultimate* pada bahan bakar *wood pellet* dan batubara. Penelitian dilanjutkan dengan menggunakan metode *computational fluid dynamic*. Terdapat beberapa tahapan pada proses simulasi yaitu pra pemrosesan, pemrosesan, dan pasca pemrosesan. Tahap pra pemrosesan terdiri dari pembuatan geometri, meshing, dan penginputan data, tahap pemrosesan adalah tahap komputasi, tahap pasca pemrosesan adalah tahap pengolahan data yang dihasilkan pasca simulasi.

2.1. Kandungan *Proximate* dan *Ultimate* Bahan Bakar

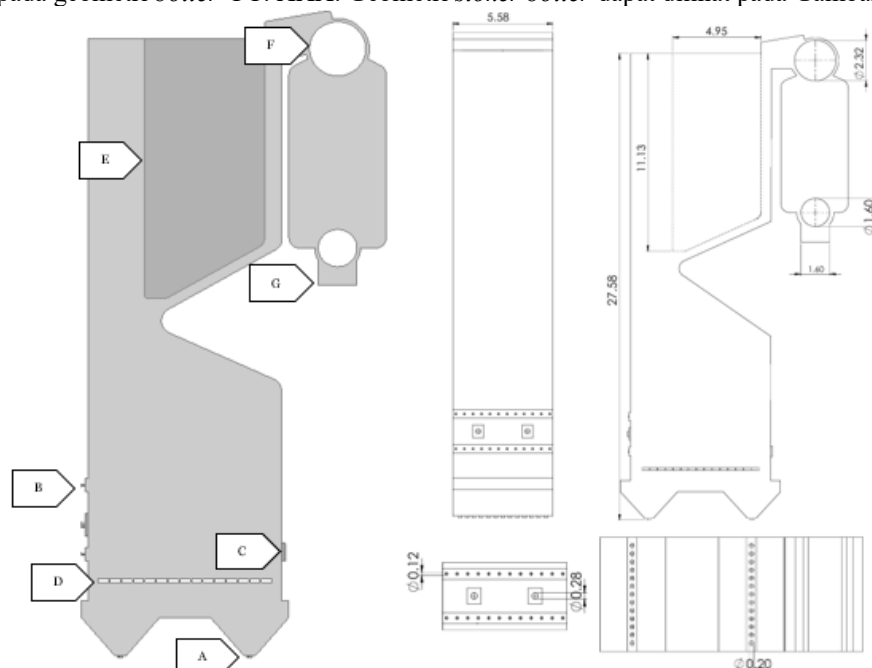
Untuk menentukan kualitas bahan bakar seperti batubara dan *wood pellet* terdapat dua buah analisis yang dilakukan, yaitu analisis *proximate* dan *ultimate*. Parameter yang terdapat pada analisis *proximate* adalah kelembaban, zat terbang, abu, dan *fixed carbon*. Sedangkan untuk analisis *ultimate* terdapat beberapa parameter yang didapatkan yaitu proporsi karbon, hidrogen, oksigen, sulfur, dan fosfor [9]. Kandungan *proximate* dan *ultimate* pada bahan bakar batubara dan *wood pellet* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Kandungan *Proximate* dan *Ultimate* pada Batubara dan *Wood Pellet*

Kandungan Ultimate	Batubara	wood pellet
Karbon	0.762416	0.5027
Hidrogen	0.09698	0.0634
Oksigen	0.108837	0.4307
Nitrogen	0.017226	0.0032
Sulfur	0.014541	0
Nilai Kalor (Joule/kg)	2.89×10^7	1.88×10^7
Kandungan Proximate	Batubara	wood pellet
Fixed Carbon	0.3561	0.741
Zat terbang	0.4794	0.19
Abu	0.106	0.003
Kelembaban	0.0585	0.066

2.2. Geometri *Boiler*

Proses perancangan geometri *boiler stoker* dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD *solidworks* dengan geometri mengacu pada geometri *boiler* PT. XXX. Geometri *stoker boiler* dapat dilihat pada Gambar 1. di bawah ini.



Gambar 1. (A) Inlet udara primer, (B) Inlet udara sekunder, (C) *Spreader*, (D) Bed pembakaran, (E) *Superheater*, (F) Drum uap, (G) *Outlet*

2.3. Pemodelan Simulasi

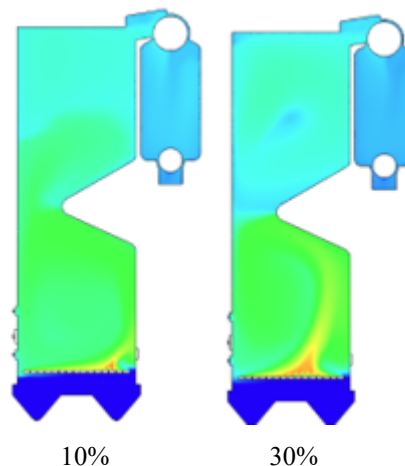
Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan proses pembakaran yang terjadi di dalam tungku boiler stoker. Pengamatan pada penelitian ini dilakukan pada kondisi pembakaran yang sudah stabil sehingga pemodelan waktu simulasi yang dipilih adalah *steady*. Untuk memodelkan peristiwa perpindahan panas yang terjadi di dalam boiler pemodelan *energy* pada pengaturan simulasi diaktifkan. Model *species* yang dipilih untuk memodelkan reaksi kimia yang terjadi adalah *species transport* dengan *turbulence-chemistry interaction eddy dissipation model*. *Eddy dissipation model* dipilih untuk mengasumsikan laju reaksi pembakaran dipengaruhi oleh tingkat pencampuran molekuler antara bahan bakar dan zat oksidasi. Model turbulensi yang digunakan pada penelitian ini adalah model *K-Epsilon-Realizable* karena model ini akurat pada daerah jauh dari dinding, model ini juga baik untuk memodelkan aliran pusaran dengan eddy tinggi [10]. Untuk memodelkan partikel bahan bakar dipilih *discrete phase model* dengan tipe partikel *combusting*. Partikel bahan bakar diinjeksikan di atas bed pembakaran sehingga bahan bakar dapat terbakar tepat pada bed pembakaran.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil *co-firing wood pellet* dan batubara menunjukkan perbedaan performa boiler dan gas buang yang didapatkan dari pembakaran boiler. Perbedaan fraksi *co-firing* menghasilkan suhu pada tungku dan outlet yang berbeda – beda. Kandungan gas buang yang dihasilkan pada proses *co-firing* juga berubah ubah pada setiap fraksi *co-firing*. Hasil gas buang yang didapatkan pada proses simulasi ini adalah kandungan CO₂, O₂, dan SO₂.

3.1 Suhu Pembakaran

Salah satu indikator bahwa sebuah boiler memiliki kinerja yang baik adalah suhu pembakaran pada boiler. Terdapat beberapa hal yang dapat memengaruhi perubahan suhu pada stoker boiler seperti nilai kalor dan kelembaban. Setelah dilakukan simulasi *co-firing wood pellet* dan batubara dengan fraksi *co-firing* 10% dan 30% didapatkan kontur seperti pada Gambar 2.

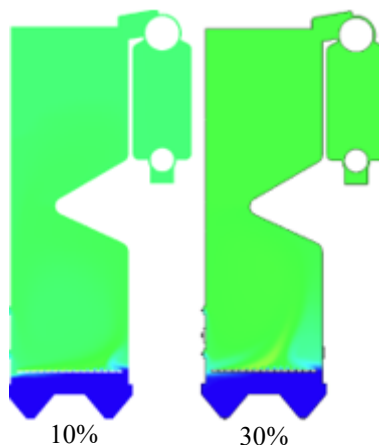


Gambar 2. Visualisasi Kontur Temperatur Dua Dimensi Pada Tungku Boiler Fraksi *Co-firing* 10% dan 30%

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan fraksi *co-firing* menyebabkan penurunan suhu pembakaran yang didapatkan. Hal ini dikarenakan kandungan pada batubara dan *wood pellet* berbeda. Kandungan kelembaban yang lebih tinggi pada *wood pellet* menyebabkan proses pembakaran melambat dan suhu pembakaran menurun pada tungku. Nilai kalor *wood pellet* yang lebih rendah juga mengakibatkan penurunan suhu dikarenakan jumlah kalor yang dilepaskan pada proses pembakaran semakin sedikit. Temperature paling tinggi dimana terjadinya proses pembakaran bahan bakar terjadi di atas bed pembakaran. Proses pembakaran ini tidak berlangsung tepat di bed dikarenakan terdapat beberapa proses yang terjadi dalam pembakaran, yaitu proses pengeringan, proses pirolisis dan gasifikasi. Pada proses ini, oksidator yang terdapat pada udara primer dan sekunder yaitu oksigen berperan penting. Temperatur udara pada outlet juga lebih rendah jika dibandingkan dengan tungku dikarenakan terjadi perpindahan panas pada dinding boiler, *superheater*, dan drum uap.

3.2 Fraksi CO₂ Pada Gas Hasil Pembakaran

Pada proses pembakaran gas CO₂ dihasilkan pada proses pirolisis primer. Gas CO₂ juga dapat terbentuk pada pirolisis sekunder apabila gas CO yang dihasilkan pada proses pirolisis primer beraksi dengan gas O₂ untuk membentuk gas CO₂. Kandungan oksigen dari udara dan dari bahan bakar dapat mempengaruhi fraksi CO₂ yang terbentuk pada proses pembakaran. Fraksi massa CO₂ dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Visualisasi Kontur CO₂ Dua Dimensi Pada Tungku Boiler Fraksi *Co-firing* 10% dan 30%

Analisis ultimate menunjukkan bahwa karbon yang terdapat pada batubara lebih tinggi jumlahnya jika dibandingkan dengan wood pellet. Akan tetapi, agar gas CO₂ dapat terbentuk, karbon pada bahan bakar harus bereaksi dengan oksigen terlebih dahulu. Kandungan oksigen yang lebih tinggi pada biomassa menyebabkan lebih tingginya jumlah gas CO₂ yang dihasilkan dari proses *co-firing* wood pellet jika dibandingkan dengan proses pembakaran batubara.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai performa boiler dan emisi gas dengan pembakaran *co-firing* menggunakan biomassa cangkang sawit, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penambahan fraksi *co-firing wood pellet* menyebabkan penurunan suhu pembakaran diakibatkan oleh tingginya kelembaban *wood pellet* jika dibandingkan dengan batubara. Nilai kalor *wood pellet* yang lebih kecil juga berkontribusi menurunkan suhu pembakaran.
2. Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran pada setiap penambahan fraksi *co-firing* lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan emisi gas batubara. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya kandungan CO₂ pada gas buang.

5. Daftar Pustaka

- [1] Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan., 2022, "Statistik Ketenagalistrikan 2021," Sekretariat Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Jakarta.
- [2] Prastiyo, S.E., Irham., Hardyastuti, S., Jamhari., 2020, "How Agriculture, Manufacture, and Urbanization Induced Carbon Emission? The Case of Indonesia," *Environemntal Science and Pollution Research*, 27: 42092-42103
- [3] Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia., 2022, "Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2021," Center for Data and Information Technology on Energy Mineral Resources, Jakarta.
- [4] Khalil, M., Berawi, M.A., Heryanto, R., Rizalie, A., 2019, "Waste to energy technology: The potential of sustainable biogas production from animal waste in Indonesia," *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 105 (1): 323-331
- [5] Rimantho, D., Hidayah, N.Y., Pratomo, V.A., Saputra, A., Akbar, I., Sundari, A.S., 2023, "The Strategy For Developing Wood Pellets As Sustainable Renewable Energy In Indonesia," *Heliyon*, 9 (3).
- [6] Sodikin, I. and Umar, D.F., 2013, "Study on Ashes of Blended Coal-Biomass for Co-Firing System in A Coal Fired Boiler," *Indonesian Mining Journal* 16(1): 37-48.
- [7] Gao, H., Runstedtler, A., Majeski, A., Boisvert, P., Campbell, D., 2016, "Optimizing a woodchip and coal co-firing retrofit for a power utility boiler using CFD". *Biomass and Bioenergy* 88 (1): 35–42.
- [8] Aditya, I.A., Haryadi, F.N., Haryani, I., 2022, "Analisis Pengujian Co-Firing Biomassa Cangkang Kelapa Sawit Pada PLTU Circulating Fluidized Bed (CFB) Sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan," *Rotasi* 24 (2): 61-66.
- [9] Khandelwal, M., Singh, T.N., 2010, "Prediction of Macerals Contents of Indian Coals From Proximate and Ultimate Analyses Using Artificial Neural Networks," *Fuel* 89 (1): 1101–1109.
- [10] Ren, Y., Shen, G., Shen, H., Zhong, Q., Xu, H., Meng, W., Zhang, W., Yu, X., Yun, X., Luo, Z., Chen, Y., Li, B., Cheng, H., Zhu, D., Tao, S., 2021, "Contributions of Biomass Burning To Global and Regional SO₂ Emissions," *Atmospheric Research*: 260.