

ANALISIS PENGARUH BIOMASSA SEKAM TEBU TERHADAP EFISIENSI BOILER

Muhammad Dwiyanto^[1], Nur Robbi, S.T., M.T^[2], Ir. Unung Lesmanah, M.T^[3]

^{[1], [2], [3]} Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Malang

Jl. MT. Haryono 193 Malang 65114, Indonesia

E-mail: dwi7080@gmail.com

ABSTRACT

The use of renewable energy as a substitute for fossil fuels is a strategic approach to achieving national energy mix targets while reducing carbon emissions. One of the technologies developed to support this objective is co-firing, which involves the simultaneous combustion of coal and biomass. This study aims to evaluate the effectiveness and performance of a boiler resulting from the co-firing of sugarcane bagasse ash at mixing ratios of 20% and 25% with bituminous coal. The research was conducted using a thermodynamic analysis approach through energy balance calculations on a laboratory-scale boiler system. The data were obtained from fuel characterization tests, including calorific value, chemical composition, and combustion parameters. In addition, this study examines the effect of using an air heater on improving boiler performance. The results indicate that the application of co-firing using sugarcane bagasse ash leads to a reduction in boiler efficiency, primarily due to the lower calorific value and higher moisture content of the biomass compared to bituminous coal. Nevertheless, the use of an air heater was proven to enhance combustion efficiency for all tested fuel variations. Overall, the findings suggest that biomass co-firing technology has significant potential to support sustainable energy development, although further optimization is required to improve its performance.

Keywords: Co-firing, Sugarcane Bagasse, Bituminous Coal, Boiler Efficiency, Biomass

ABSTRAK

Pemanfaatan energi terbarukan sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil merupakan langkah penting dalam upaya mencapai target bauran energi nasional sekaligus menekan emisi karbon. Salah satu teknologi yang dikembangkan untuk mendukung hal tersebut adalah co-firing, yaitu proses pembakaran batubara yang dicampur dengan biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas serta kinerja boiler akibat pencampuran biomassa sekam tebu sebesar 20% dan 25% dengan batubara bitumen. Metode yang digunakan adalah analisis termodinamika melalui perhitungan keseimbangan energi pada sistem boiler skala laboratorium. Data penelitian diperoleh dari hasil pengujian karakteristik bahan bakar, meliputi nilai kalor, komposisi kimia, dan parameter pembakaran. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji pengaruh penggunaan air heater terhadap peningkatan kinerja boiler. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan co-firing dengan biomassa sekam tebu menyebabkan penurunan efisiensi boiler, yang terutama disebabkan oleh nilai kalor biomassa yang lebih rendah serta kandungan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan batubara bitumen. Namun demikian, penggunaan air heater terbukti dapat meningkatkan efisiensi pembakaran pada berbagai variasi bahan bakar. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi co-firing biomassa memiliki potensi dalam mendukung pengembangan energi berkelanjutan, meskipun masih diperlukan upaya optimasi lebih lanjut agar kinerjanya lebih optimal.

Kata kunci: Co-firing, Sekam Tebu, Batubara Bitumen, Efisiensi Boiler, Biomassa

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan pesatnya perkembangan aktivitas industri. Di Indonesia, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) masih menjadi tulang punggung sistem penyediaan energi listrik, dengan batubara sebagai bahan bakar utama. Namun, tingginya ketergantungan terhadap batubara menimbulkan berbagai permasalahan, terutama terkait keterbatasan sumber daya fosil serta dampak lingkungan berupa peningkatan

emisi gas rumah kaca.

Salah satu upaya untuk meningkatkan keberlanjutan sistem pembangkitan listrik adalah melalui penerapan teknologi co-firing, yaitu pembakaran bersama antara batubara dan biomassa. Biomassa merupakan sumber energi terbarukan yang berpotensi mengurangi konsumsi bahan bakar fosil sekaligus menekan emisi karbon. Limbah pertanian, seperti sekam atau ampas tebu, tersedia dalam jumlah melimpah dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan

sebagai bahan bakar alternatif dalam sistem co-firing.

Meskipun sekam tebu memiliki ketersediaan yang tinggi, karakteristiknya berupa nilai kalor yang relatif rendah dan kadar air yang tinggi dapat memengaruhi efisiensi serta kinerja boiler. Oleh karena itu, pemanfaatan sekam tebu dalam sistem co-firing perlu dikaji secara mendalam, khususnya terkait pengaruhnya terhadap efisiensi termal boiler. Selain itu, penggunaan peralatan pendukung seperti air heater juga berpotensi meningkatkan kualitas proses pembakaran melalui pemanfaatan panas dari gas buang.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan co-firing biomassa dengan batubara pada rasio tertentu dapat menyebabkan penurunan efisiensi boiler, meskipun tetap memberikan keuntungan dari aspek lingkungan dan keberlanjutan energi. Namun demikian, kajian mengenai pembakaran bersama serbuk tebu dan batubara bitumen pada variasi rasio 20% dan 25%, serta pengaruh penggunaan air heater terhadap efisiensi boiler, masih relatif terbatas.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pencampuran biomassa sekam tebu sebesar 20% dan 25%

dengan batubara bitumen terhadap efisiensi boiler, baik sebelum maupun setelah penerapan air heater. Diharapkan, hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi co-firing biomassa yang lebih berkelanjutan pada sistem pembangkitan listrik berbasis batubara.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh penerapan co-firing biomassa sekam tebu pada batubara bitumen terhadap efisiensi boiler. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kondisi sistem sebelum dan setelah penggunaan air heater untuk mengetahui perubahan kinerja termal pada proses pembakaran.

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini meliputi batubara bitumen murni serta campuran batubara dan biomassa sekam tebu dengan variasi komposisi sebesar 20% dan 25% berdasarkan fraksi massa. Sifat bahan bakar ditentukan melalui pengujian proximate dan ultimate, analisis kadar air, serta pengukuran nilai kalor tinggi (High Heating Value). Semua pengujian dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

Hasil pengujian berikutnya digunakan untuk menghitung nilai kalor rendah, kebutuhan udara pembakaran, dan rasio udara terhadap bahan bakar. Analisis keseimbangan energi pada sistem boiler dilakukan untuk menentukan efisiensi termal. Nilai efisiensi boiler didapatkan dari perbandingan antara energi panas yang diserap oleh sistem dan energi panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar. Perbandingan

Efisiensi pada setiap variasi bahan bakar digunakan untuk mengevaluasi pengaruh co-firing biomassa sekam tebu serta penerapan air heater terhadap kinerja boiler.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian diperoleh dengan cara percobaan Analisis kesetimbangan panas dilakukan untuk mengetahui energi panas yang masuk ke dalam sistem boiler. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi panas masuk (Q_{in}) tertinggi diperoleh pada batubara bitumen sebesar 127.213,67 kJ/jam.

Pada biomassa sekam tebu 20% dan 25%, nilai Q_{in} menurun masing-masing menjadi 114.682,17 kJ/jam dan 110.900,42 kJ/jam. Penurunan energi panas ini sejalan dengan berkurangnya nilai kalor bahan bakar akibat penambahan fraksi biomassa.

Energi panas hasil pembakaran dimanfaatkan oleh beberapa komponen utama boiler, yaitu evaporator (saturated), high temperature superheater (HTS), low temperature superheater (LTS), dan economizer. Total panas yang diserap sistem sebelum penambahan air heater pada batubara bitumen sebesar 143.886,14 kJ/jam.

Tabel 1. Hasil perhitungan efisiensi boiler besar panas yang diserap air heater

No	Temperatur (°C)	Tekanan (bar)	Batubara	Q_{ah} (Kj/jam)
1.	100,50 °C	315,25 bar	Bitumen	2737,71
2.	100,50 °C	315,25 bar	Biomassa Sekam Tebu 20%	2410,76
3.	100,50 °C	315,25 bar	Biomassa Sekam Tebu 25%	2343,19

Pada campuran biomassa sekam tebu 20% dan 25%, total panas yang diserap masing-masing sebesar 181.751,85 kJ/jam dan 177.279,37 kJ/jam. Perbedaan distribusi panas ini dipengaruhi oleh laju aliran massa uap dan karakteristik termal masing-masing bahan bakar.

Efisiensi boiler sebelum penambahan air heater menunjukkan bahwa batubara bitumen memiliki efisiensi tertinggi sebesar 83%, sedangkan biomassa

sekam tebu 20% dan 25% masing-masing sebesar 63% dan 62%.

Tabel 2. Hasil perhitungan sebelum penambahan air heater

No	Bahan Bakar	Effisiensi Total (%)
1.	Bitumen	83
2.	Biomassa Sekam Tebu 20%	63
3.	Biomassa Sekam Tebu 25%	62

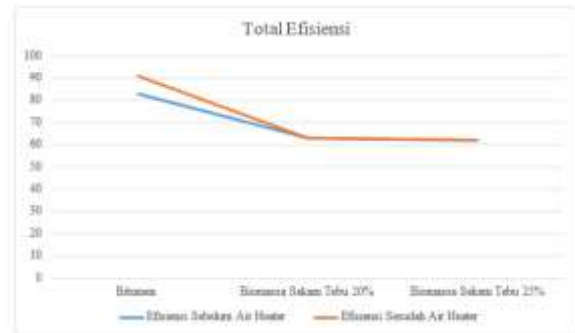
Setelah penambahan air heater, efisiensi boiler meningkat pada seluruh variasi bahan bakar. Efisiensi batubara bitumen meningkat menjadi 91%, sedangkan biomassa sekam tebu 20% dan 25% meningkat menjadi 64% dan 63%.

Tabel 3. Hasil perhitungan efisiensi setelah penambahan air heater

No	Batubara	Effisiensi Boiler (%)
1.	Bitumen	91
2.	Biomassa Sekam Tebu 20%	64
3.	Biomassa Sekam Tebu 25%	63

Peningkatan efisiensi ini terjadi karena air heater mampu memanfaatkan panas gas buang untuk memanaskan udara pembakaran, sehingga meningkatkan kesempurnaan pembakaran dan mengurangi kehilangan panas.

Gambar 1. Grafik perbandingan kalor sebelum dan sesudah penambahan air heater



Gambar diatas menunjukkan bahwa penambahan air heater memberikan peningkatan efisiensi boiler pada semua jenis bahan bakar yang digunakan. Meskipun nilai efisiensi pada sistem co-firing biomassa masih berada di bawah pembakaran batubara murni, hasil ini mengindikasikan bahwa air heater tetap berperan dalam memperbaiki kinerja termal boiler. Dengan adanya pemanasan udara pembakaran, penurunan efisiensi yang terjadi akibat pencampuran biomassa dapat ditekan, sehingga kinerja boiler menjadi lebih stabil dibandingkan kondisi tanpa air heater.

KESIMPULAN

Penerapan air heater pada sistem pembakaran terbukti meningkatkan efisiensi boiler pada kondisi pembakaran batubara bitumen murni, dengan efisiensi maksimum mencapai sekitar 91% dibandingkan kondisi awal sebesar 83%. Hal ini menunjukkan bahwa pemanasan

udara pembakaran dapat meningkatkan kualitas dan kesempurnaan pembakaran batubara. Namun, dalam penerapan co-firing biomassa sekam tebu, peningkatan efisiensi boiler tidak terlalu signifikan.

Pada rasio co-firing 20% dan 25%, efisiensi boiler berada pada kisaran 62–63% baik sebelum maupun setelah penggunaan air heater. Penurunan efisiensi ini dipengaruhi oleh karakteristik biomassa sekam tebu yang memiliki nilai kalor rendah, kandungan air tinggi, serta proporsi oksigen yang besar. Meskipun demikian, penerapan co-firing biomassa tetap memiliki potensi dalam mendukung keberlanjutan energi dan pengurangan emisi, namun memerlukan optimasi lebih lanjut agar penurunan efisiensi termal dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Basu, P. (2006). *Combustion and gasification in fluidized beds*. CRC Press.
2. Demirbas, A. (2009). *Biofuels: Securing the planet's future energy needs*. Springer.
3. Rosendahl, L. A. (2013). *Biomass combustion science, technology and engineering*. Woodhead Publishing.
4. Tumuluru, J. S. (2016). *Co-firing of biomass with coal: Constraints and opportunities*. Springer.
5. Ko, A. S. (2008). Optimal planning of co-firing alternative fuels with coal in a power plant by grey nonlinear mixed integer programming model. *Elsevier*, 11–27.
6. Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Thermodynamics: An engineering approach*. McGraw-Hill Education.
7. Nag, P. K. (2008). *Power plant engineering*. Tata McGraw-Hill.
8. Rusdianasari. (2023). Characterization of empty fruit bunch of palm oil as co-firing biomass feedstock.
9. Suleimenova, B., et al. (2022). Co-firing of refuse-derived fuel with coal in a bubbling fluidized bed reactor: Analysis of emissions and ash characteristics. *Energies*.
10. Nasional, S. J. (2023). *Outlook Energi Indonesia 2023*. Jakarta.