

PENGARUH *CO-FIRING* TONGKOL JAGUNG PADA BATUBARA TERHADAP EFISIENSI BOILER

M. Wafiq Azizi¹, Ena Marlina², Nur Robbi³

¹Universitas Islam Malang

e-mail : 22001052067@unisma.ac.id

²Universitas Islam Malang

e-mail : ena.marlina@unisma.ac.id

³Universitas Islam Malang

e-mail : nurrobby@unisma.ac.id

ABSTRACT

This study was conducted to address the issue of combustion efficiency in boilers due to the continuous use of fossil fuels. One of the solutions explored is the co-firing method, which involves mixing bituminous coal with corncob biomass. The research was carried out experimentally using the direct method to evaluate the boiler's thermal efficiency based on different fuel mixtures: pure coal, coal with 35% corncob, and coal with 45% corncob. The combustion results showed that the highest efficiency was achieved with pure coal (93%), while the 35% and 45% corncob mixtures reduced efficiency to 78% and 70%, respectively. This efficiency drop was caused by the lower calorific value of corncob. However, efficiency improvements can be achieved through the addition of an air heater. The use of corncob as a blended fuel has potential in supporting renewable energy efforts, although maintaining efficiency requires optimizing the proportion of biomass used.

Keywords: *Boiler Efficiency, Biomass, Co-Firing, Direct Method.*

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengatasi permasalahan efisiensi pembakaran pada boiler akibat penggunaan bahan bakar fosil secara berkelanjutan. Salah satu solusi yang dikaji adalah metode *co-firing*, yaitu pencampuran batubara bitumen dengan *biomassa* tongkol jagung. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan metode langsung (*direct method*) untuk mengevaluasi efisiensi termal boiler berdasarkan variasi campuran bahan bakar: batubara murni, batubara dengan 35% tongkol jagung, dan batubara dengan 45% tongkol jagung. Hasil pembakaran menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi diperoleh pada batubara murni (93%), sementara campuran 35% dan 45% tongkol jagung menurunkan efisiensi menjadi masing-masing 78% dan 70%. Penurunan efisiensi ini disebabkan oleh rendahnya nilai kalor tongkol jagung. Namun, peningkatan efisiensi dapat dicapai melalui penambahan *air heater*. Penggunaan tongkol jagung sebagai bahan campuran memiliki potensi dalam mendukung energi terbarukan, meskipun untuk menjaga efisiensi, diperlukan pengaturan proporsi *biomassa* yang optimal.

Kata kunci: Efisiensi Boiler, Biomassa, *Co-Firing*, *Direct Method*.

PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok yang menunjang hampir seluruh aktivitas manusia, baik di sektor rumah tangga, industri, usaha, maupun fasilitas publik. Kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya, namun sebagian besar masih dipenuhi dari sumber energi fosil yang ketersediaannya terbatas dan berdampak negatif terhadap lingkungan [1].

Provinsi Jawa Timur, dengan populasi sekitar 37.478.980 jiwa dan luas wilayah 47.922 km², mencatatkan penjualan listrik sebesar 7.478.066 MWh pada triwulan pertama (data PT PLN Distribusi Jawa Timur). Mayoritas konsumsi berasal dari sektor rumah tangga, yang terus meningkat setiap tahun. Untuk mencapai target bauran energi nasional pada tahun 2025, diperlukan percepatan pengembangan energi baru dan terbarukan. Salah satu potensi energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan adalah biomassa, seperti tongkol jagung, melalui metode *co-firing*. *Co-firing* adalah teknik pencampuran bahan bakar biomassa ke dalam furnace boiler, yang berfungsi untuk mengurangi emisi tanpa menurunkan efisiensi sistem [2]. Metode ini mengombinasikan bahan bakar fosil dan alternatif terbarukan dengan rasio tertentu, sehingga dapat menekan konsumsi batubara dan biaya produksi Listrik [3].

Dalam praktik pembangkitan listrik, masih terdapat tantangan teknis dan regulasi, terutama terkait batas emisi yang diperbolehkan. Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi teknologi yang mampu mengurangi emisi gas buang serta ramah lingkungan [4]. (Agus et al., 2023).

Selain penggunaan batubara sebagai bahan bakar utama, dalam penelitian ini digunakan pula biomassa berupa tongkol jagung sebagai bahan campuran. Pembakaran dengan metode *co-firing* tidak hanya menghasilkan energi termal, tetapi juga melibatkan analisis eksergi dan keseimbangan panas (*heat balance*) yang penting untuk menilai efisiensi sistem secara menyeluruh. menggabungkan batubara dengan biomassa dalam sistem pembakaran merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi dan mendukung keberlanjutan pembangkit listrik di Indonesia [5].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan secara eksperimental di laboratorium dengan menggunakan pendekatan *direct method*. Eksperimen difokuskan pada pengujian karakteristik bahan bakar, yaitu analisis komposisi unsur (CHNS) dan nilai kalor dari campuran batubara bitumen dan tongkol jagung. Sementara itu, data operasional boiler, seperti massa uap, suhu, dan parameter lainnya, diperoleh dari data aktual yang diambil dari Plant PT XYZ. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi rasio campuran terhadap efisiensi termal boiler melalui perhitungan berdasarkan data lapangan yang tersedia.

A. Alat dan bahan yang digunakan

1. Alat penelitian
 - a. Timbangan analitik
 - b. Bomb kalori meter
 - c. CHNS Analyzer
 - d. *Thermocouple* untuk pengukuran suhu

2. Bahan penelitian
 - a. Tongkol jagung kering yang dihancurkan
 - b. Batubara bitumen
 - c. Data aktual Plant PT XYZ

B. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang kami lakukan, memerlukan tahapan sebagai berikut :

1. Persiapan Biomassa:
Tongkol jagung dikumpulkan dari limbah hasil penggilingan jagung. Material ini dipotong kecil-kecil, dicuci bersih untuk menghilangkan kotoran, dan dikeringkan selama 1–4 hari tergantung pada intensitas cahaya matahari, hingga kadar airnya menurun.
2. Pengolahan Bahan Bakar:
Setelah kering, tongkol jagung dihancurkan hingga berukuran halus. Proses serupa dilakukan terhadap batubara bitumen untuk menyeragamkan ukuran partikel.
3. Pencampuran *Co-Firing*:
Bahan bakar biomassa dan batubara dicampur dengan dua variasi rasio: 35% dan 45% biomassa terhadap total massa bahan bakar.
4. Penimbangan Campuran:
Setiap campuran ditimbang dengan cermat untuk memastikan rasio pencampuran sesuai desain eksperimen.
5. Pengujian bahan bakar:
Campuran bahan bakar diuji menggunakan kalorimeter dan CHNS *Analyzer* untuk memperoleh data nilai kalor serta komposisi unsur utama (C, H, N, S, O).

6. Pengolahan data
Pengolahan data dilakukan setelah *co-firing* dilakukan uji nilai kalor, dan uji CHNS *analyzer*.
7. Analisis dan pembahasan
Setelah data didapatkan dalam proses penelitian dilakukan analisis dan pembahasan hasil data penelitian

C. Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data merupakan tahapan penting dalam penelitian eksperimental untuk memperoleh informasi kuantitatif yang dibutuhkan dalam analisis. Pada penelitian ini, data diperoleh melalui dua pendekatan utama:

1. Data Hasil Pengujian Laboratorium
Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik bahan bakar yang digunakan. Data yang dikumpulkan meliputi:
 - a. Nilai kalor (*Higher Heating Value/HHV*) dari batubara murni, serta campuran batubara dengan 35% dan 45% tongkol jagung, menggunakan bomb kalorimeter.
 - b. Komposisi unsur kimia (CHNS) pada masing-masing campuran bahan bakar, menggunakan CHNS *Analyzer*, meliputi kandungan karbon (C), hidrogen (H), nitrogen (N), sulfur (S), oksigen (O), serta kadar air (*moisture*).
2. Data Operasional Boiler (Diperoleh dari Plan PT XYZ)
Data operasional boiler diambil dari kondisi nyata di lapangan, untuk digunakan dalam perhitungan efisiensi termal. Data yang digunakan antara lain:
 - a. Massa bahan bakar (kg) yang digunakan untuk pembakaran
 - b. Massa uap yang dihasilkan (kg)

c. Entalpi uap keluar (h_s) dan entalpi air umpan (h_f)

d. Suhu air umpan dan suhu uap

Data-data tersebut menjadi dasar dalam perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode langsung (*direct method*)

D. Analisa data

Analisis data dilakukan untuk mengetahui pengaruh *co-firing* tongkol jagung terhadap efisiensi boiler. Metode yang dilakukan sebagai berikut.

1. Direct method (perhitungan langsung)

Data yang diperoleh dari hasil percobaan berupa nilai kalor bahan bakar, massa bahan bakar, massa uap, serta entalpi uap dan air. Efisiensi boiler dihitung menggunakan metode langsung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Boiler (\%)} = \left(\frac{m_a \times (h_a - h_f)}{m_f \times \text{GCV}} \right) \times 100\% \quad [6].$$

m_s = Massa uap yang dihasilkan (kg)

h_s = Entalpi uap kering atau uap panas lanjut (kJ/kg)

h_f = Entalpi air umpan (*feedwater*) (kJ/kg)

m_f = Massa bahan bakar yang digunakan (kg)

GCV = *Gross Calorific Value* atau nilai kalor total dari bahan bakar (kJ/kg)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Pengujian terhadap bahan bakar dilakukan untuk mengetahui nilai kalor (HHV) dan komposisi unsur kimia utama menggunakan bomb kalorimeter dan CHNS *Analyzer*. Hasil pengujian dirangkum dalam tabel berikut:

Tabel 1. Hasil pengujian Batubara bitumen

Kandungan Batubara	Hasil Pengukuran (Measured)	Units (%)
<i>Carbon</i>	73	% wt.
<i>Hydrogen</i>	5	% wt.
<i>Sulphur</i>	0.30	% wt.
<i>Oxygen</i>	21.20	% wt.
<i>Nitrogene</i>	0.50	% wt.
<i>Moisture</i>	3,42	% wt.
HHV	29200	kJ/kg

Tabel 2. Hasil pengujian Tongkol Jagung 35%

Kandungan Tongkol Jagung 35%	Hasil Pengukuran (Measured)	Units (%)
<i>Carbon</i>	61	% wt.
<i>Hydrogen</i>	2	% wt.
<i>Sulphur</i>	1,05	% wt.
<i>Oxygen</i>	25	% wt.
<i>Nitrogene</i>	1,40	% wt.
<i>Moisture</i>	9,55	% wt.
HHV	25110	kJ/kg

Tabel 3. Hasil pengujian Tongkol Jagung 45%

Kandungan Tongkol Jagung 45%	Hasil Pengukuran (Measured)	Units (%)
<i>Carbon</i>	54,50	% wt.
<i>Hydrogen</i>	2	% wt.
<i>Sulphur</i>	1,50	% wt.
<i>Oxygen</i>	29,00	% wt.
<i>Nitrogene</i>	3,00	% wt.
<i>Moisture</i>	10	% wt.
HHV	23940	kJ/kg

Berdasarkan hasil tersebut, nilai kalor tertinggi diperoleh pada batubara bitumen murni sebesar 29.200 kJ/kg. Penambahan tongkol jagung ke dalam campuran bahan bakar menyebabkan penurunan nilai kalor. Pada campuran 35%, nilai HHV turun menjadi 25.110 kJ/kg, dan semakin menurun menjadi 23.940 kJ/kg pada campuran 45%.

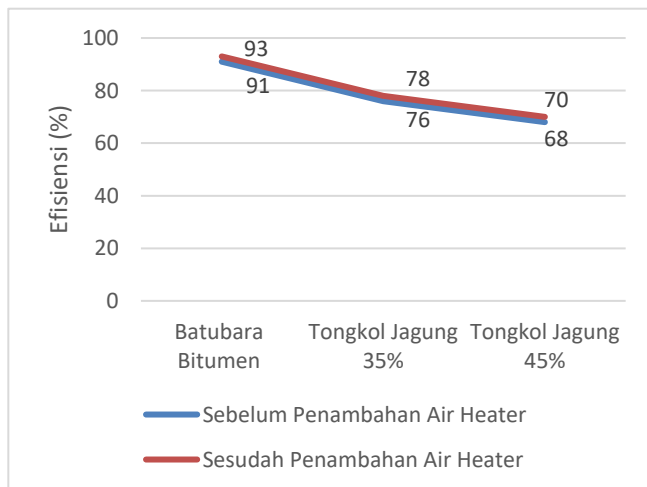
Penurunan ini disebabkan oleh tingginya kandungan air dan oksigen pada *biomassa*, serta kandungan karbon yang lebih rendah dibandingkan batubara.

PEMBAHASAN

Pengaruh *co-firing* Tongkol Jagung Terhadap Efisiensi Boiler

Efisiensi termal boiler dihitung berdasarkan data aktual operasi dari Plant PT XYZ dengan menggunakan metode langsung (*direct method*). Grafik berikut menggambarkan hubungan antara variasi campuran bahan bakar dengan efisiensi boiler:

Gambar 1. Grafik Efisiensi



Hasil perhitungan menunjukkan bahwa:

- Efisiensi tertinggi sebesar 93% diperoleh saat menggunakan batubara murni.
- Campuran dengan 35% tongkol jagung menurunkan efisiensi menjadi 78%.
- Campuran dengan 45% tongkol jagung menghasilkan efisiensi yang lebih rendah, yaitu 70%.

Penurunan efisiensi ini sejalan dengan penurunan nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor yang lebih rendah mengurangi jumlah

energi yang dapat dikonversi menjadi uap, sehingga menurunkan efisiensi keseluruhan sistem.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian mengenai pengaruh *co-firing* tongkol jagung terhadap efisiensi boiler, dapat disimpulkan bahwa:

- Efisiensi tertinggi dicapai pada penggunaan batubara murni, yaitu sebesar 93%, karena nilai kalor yang tinggi dan karakteristik pembakaran yang stabil.
- Penambahan tongkol jagung sebagai bahan bakar campuran menurunkan efisiensi, seiring dengan penurunan nilai kalor. Campuran 35% menghasilkan efisiensi 78%, sedangkan campuran 45% menurunkan efisiensi hingga 70%.
- Penurunan efisiensi disebabkan oleh sifat tongkol jagung yang memiliki kandungan kelembaban tinggi, kandungan karbon rendah, dan nilai kalor yang lebih rendah dibandingkan batubara.
- Penambahan komponen pendukung seperti *air heater* dapat membantu meningkatkan efisiensi pembakaran secara signifikan. Setelah penambahan air heater, efisiensi meningkat menjadi 84% untuk campuran 35%, dan 76% untuk campuran 45%.
- Meskipun terdapat penurunan efisiensi, *co-firing* dengan tongkol jagung tetap memiliki potensi sebagai solusi energi terbarukan, asalkan proporsi pencampuran dioptimalkan dan sistem pembakaran dimodifikasi dengan teknologi pendukung.

REFERENCES

[1] erny, k., manik, l., santi, s., rahayu, p., si, m., & setiawan, i. (n.d.). *final project-ss*

141501 modelling of electric energy needs in east java with simultaneous equations approach undergraduate programme department of statistics faculty of mathematics and natural sciences institut teknologi sepuluh nopember surabaya 2016.

[2] wander, p., van eyk, p. j., & stanger, r. (2020). *co-firing biomass with coal for power generation: a review of technologies and impacts on boiler performance*. renewable and sustainable energy reviews, 119, 109509.

[3] xu, c., donald, j., byambajav, e., & ohsumi, t. (2020). *biomass co-firing technology with policies, challenges, and prospects in china: a review*. renewable and sustainable energy reviews, 119, 109589.

[4] a. agus, r. hidayat, dan s. firmansyah, “inovasi teknologi pembangkit listrik ramah lingkungan berbasis biomassa untuk mendukung target bauran energi nasional,” *jurnal energi dan lingkungan*, vol. 14, no. 2, pp. 85–92, 2023.

[5] m. d. supriyadi, b. santosa, dan a. nurhuda, “analisis termodinamika dan eksergi pada sistem pembakaran co-firing batubara dan biomassa,” *jurnal teknik energi*, vol. 9, no. 1, pp. 33–41, 2021.

[6] bureau of energy efficiency (bee), *energy efficiency in thermal utilities: chapter 4 – performance evaluation of boilers*, 2nd ed., new delhi: ministry of power, government of india, 2005.