

ANALISIS PENGARUH VARIASI BATUBARA BITUMEN DAN ANTRASIT TERHADAP EFISIENSI BOILER

Surya Rachmad Hermansyah¹, Margianto², Nur Robbi³

Jurusan Teknik, Prodi Teknik Mesin, Universitas Islam Malang,

Jl. MT Haryono 193 Malang, 65144, Indonesia

*E-mail: 22001052048@unisma.ac.id margianto@unisma.ac.id
nurrobby@unisma.ac.id*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan menganalisis efek variasi batubara bitumen serta antrasit terhadap efisiensi boiler pada PLTU *supercritical siklus Rankine* dengan metode *Direct Method*. Data diperoleh melalui pengujian laboratorium memakai bomb calorimeter dan CHNS *analyzer* untuk memilih nilai kalor serta komposisi kimia batubara. Batubara bitumen mempunyai kandungan karbon 73% dengan HHV 29.200 kJ/kg, sedangkan antrasit mengandung karbon 85% dengan HHV 31.773 kJ/kg. akibat perhitungan membagikan efisiensi awal boiler sebesar 91% di bitumen dan 96% di antrasit. setelah penambahan air heater, efisiensi meningkat menjadi 93% buat bitumen serta 97% buat antrasit, dengan total kalor masing-masing 119.672,59 kJ/jam dan 154.660,42 kJ/jam. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa batubara antrasit memiliki keunggulan dibandingkan batubara bitumen, terutama karena kandungan karbonnya yang lebih tinggi dan kadar airnya yang lebih rendah. sehingga pembakaran lebih sempurna. Penambahan *air heater* terbukti efektif mempertinggi efisiensi ke 2 jenis batubara menggunakan memanfaatkan panas gas buang. menggunakan demikian, pemilihan bahan bakar dan penerapan *air heater* ialah faktor penting pada optimalisasi performa boiler pada PLTU.

Kata kunci : Batubara Bitumen, Batubara Antrasit, Efisiensi Boiler, PLTU, *Direct Method*, *Air Heater*.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of bituminous and anthracite coal variations on boiler efficiency in a supercritical power plant using the Rankine cycle with the Direct Method. Data were obtained through laboratory testing using a bomb calorimeter and CHNS analyzer to determine the calorific value and chemical composition of the coal. Bituminous coal contains 73%

carbon with an HHV of 29,200 kJ/kg, while anthracite contains 85% carbon with an HHV of 31,773 kJ/kg. The calculation results show that the initial boiler efficiency was 91% for bituminous coal and 96% for anthracite. After the addition of an air heater, the efficiency increased to 93% for bituminous coal and 97% for anthracite, with total heat values of 119,672.59 kJ/hour and 154,660.42 kJ/hour; respectively. The conclusion of this study indicates that anthracite coal has advantages over bituminous coal, mainly due to its higher carbon content and lower moisture content, resulting in more complete combustion. The addition of an air heater has proven effective in improving the efficiency of both coal types by utilizing flue gas heat. Therefore, fuel selection and the application of air heaters are key factors in optimizing boiler performance in power plants.

Keywords: *Bituminous Coal, Anthracite Coal, Boiler Efficiency, Coal-Fired Power Plant, Direct Method, Air Heater*

PENDAHULUAN

Permintaan energi listrik di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, sejalan dengan pertumbuhan populasi, perkembangan industri, dan peningkatan standar hidup masyarakat. Listrik telah menjadi kebutuhan dasar yang mendukung berbagai aspek kehidupan, baik di sektor rumah tangga, transportasi, maupun industri. Saat ini, energi fosil, terutama batubara, masih menjadi sumber utama dalam pembangkit listrik di Indonesia, berkat ketersediaannya yang melimpah, harga yang terjangkau, serta infrastruktur yang sudah ada (Budiarjo et al, 1089).

Namun, penggunaan energi fosil, khususnya batubara, menghadirkan tantangan signifikan dalam hal lingkungan dan

keberlanjutan. Pembakaran batubara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) menghasilkan emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO₂), sulfur oksida (SO_x), dan nitrogen oksida (NO_x), yang berkontribusi terhadap pemanasan global dan pencemaran udara. Selain itu, batubara adalah sumber energi tidak terbarukan dengan cadangan yang akan semakin berkurang jika dieksploitasi tanpa pengelolaan yang baik. Oleh karena itu, diperlukan strategi efisiensi energi dalam sistem pembangkit listrik untuk mengoptimalkan penggunaan batubara dengan dampak lingkungan yang minimal (Asyari Daryus, 2012).

PLTU adalah tipe pembangkit listrik yang banyak digunakan di Indonesia. Prinsip kerja PLTU adalah mengubah energi kimia

dari batubara menjadi energi panas, yang kemudian dikonversi menjadi energi mekanis melalui turbin uap, dan akhirnya menghasilkan energi listrik melalui generator. Komponen utama dalam proses ini adalah boiler, yang berfungsi untuk mengubah air menjadi uap dengan memanfaatkan energi panas dari pembakaran batubara. Efisiensi boiler adalah indikator penting dalam menilai kinerja PLTU; semakin tinggi efisiensinya, semakin sedikit bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan sejumlah uap tertentu, sehingga biaya operasional dan dampak lingkungan dapat diminimalkan (Rizal, 2019).

Berbagai faktor memengaruhi efisiensi boiler, termasuk desain sistem, kondisi operasi, dan terutama jenis bahan bakar yang digunakan. Batubara memiliki variasi kualitas yang berbeda-beda, tergantung pada tingkat karbonisasi, kandungan air, dan nilai kalorinya. Jenis batubara yang umum digunakan di PLTU adalah bitumen dan antrasit. Batubara bitumen mengandung sekitar 73% karbon dengan nilai kalor menengah; meskipun mudah terbakar, ia menghasilkan lebih banyak asap dan residu. Sebaliknya, batubara antrasit memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, mencapai 85%, kandungan air yang minim dan nilai kalor yang lebih

tinggi, sehingga pembakarannya lebih efisien (Sukandarrumidi, 2009).

Selain pemilihan jenis batubara, efisiensi boiler juga dapat ditingkatkan dengan penambahan komponen pendukung, seperti air heater. Air heater memanfaatkan panas dari gas buang hasil pembakaran untuk memanaskan udara sebelum masuk ke ruang bakar. Dengan begitu, temperatur udara pembakaran menjadi lebih tinggi, yang dapat meningkatkan proses pembakaran, mengurangi konsumsi bahan bakar, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem (Hendri, 2017).

Dalam konteks ini, penelitian mengenai pengaruh variasi batubara bitumen dan antrasit terhadap efisiensi boiler di PLTU supercritical sangat penting. Penelitian ini menggunakan metode Direct Method, yaitu metode perhitungan efisiensi yang membandingkan langsung energi keluaran dalam bentuk uap dengan energi masukan dari bahan bakar. Metode ini dipilih karena kesederhanaannya, kecepatan, dan kemampuannya memberikan gambaran awal mengenai kinerja boiler secara praktis. Dengan menganalisis efisiensi boiler menggunakan dua jenis batubara yang berbeda dan meninjau peran air heater dalam sistem, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi

pada pengembangan strategi pemilihan bahan bakar dan optimalisasi desain komponen di PLTU. Hasil penelitian dapat menjadi acuan dalam merumuskan kebijakan penggunaan batubara dengan mempertimbangkan aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan, sehingga sistem pembangkit listrik dapat beroperasi lebih efisien dan berkelanjutan.

METODE DAN MATERIAL

Penelitian ini dilaksanakan dengan pendekatan eksperimental menggunakan data dari uji laboratorium. Variabel independen dalam penelitian ini adalah jenis batubara yang digunakan, yaitu 100% batubara bitumen dan 100% batubara antrasit, sementara variabel dependen adalah efisiensi boiler. Data yang dikumpulkan mencakup nilai kalor bahan bakar, komposisi kimia, tekanan, serta suhu pembakaran pada kondisi operasi supercritical.

Bahan utama dalam penelitian ini terdiri dari dua jenis batubara dengan karakteristik yang berbeda. Batubara bitumen memiliki kandungan karbon sekitar 73%, hidrogen 5%, sulfur 0,30%, nitrogen 0,50%, oksigen 21,20%, dan kadar air (moisture) 3,42%. Di sisi lain, batubara antrasit memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, yaitu 85%, hidrogen 2%, sulfur 0,50%,

nitrogen 0,80%, oksigen 10%, dan kadar air 1,70%. Perbedaan dalam komposisi dan nilai kalor ini menjadikan batubara antrasit lebih efisien dalam proses pembakaran, sedangkan batubara bitumen lebih mudah terbakar namun menghasilkan lebih banyak residu.

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari bomb calorimeter untuk mengukur nilai kalor (HHV dan LHV), CHNS analyzer untuk menentukan kandungan unsur utama, timbangan analitik untuk menimbang massa sampel secara akurat, sensor suhu untuk memantau temperatur pembakaran, serta boiler skala laboratorium dan ruang pembakaran sebagai media simulasi. Prosedur penelitian dimulai dengan persiapan sampel, yang melibatkan penghancuran batubara hingga berbentuk serbuk dan penyaringan untuk memastikan ukuran partikel yang seragam. Sampel batubara kemudian diuji untuk menentukan nilai kalor tinggi (HHV), nilai kalor rendah (LHV), dan komposisi kimianya menggunakan bomb calorimeter dan CHNS analyzer. Setelah itu, percobaan pembakaran dilakukan menggunakan boiler skala laboratorium. Uji dilakukan secara terpisah untuk batubara bitumen dan antrasit, serta dalam dua kondisi, yaitu tanpa air heater dan dengan penambahan air heater. Data yang diperoleh dari

pengujian selanjutnya dianalisis untuk membandingkan pengaruh jenis batubara dan efektivitas penggunaan air heater terhadap efisiensi boiler

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa batubara bitumen mengandung 73% karbon dengan nilai kalor tinggi (Higher Heating Value - HHV) sebesar 29.200 kJ/kg dan nilai kalor rendah (Lower Heating Value - LHV) sekitar 27.300 kJ/kg. Di sisi lain, batubara antrasit memiliki kandungan karbon yang lebih tinggi, yaitu 85%, dengan HHV 31.773 kJ/kg dan LHV sekitar 30.100 kJ/kg. Perbedaan ini menunjukkan bahwa antrasit memiliki kualitas bahan bakar yang superior, karena kandungan karbon yang lebih tinggi dan kadar air yang lebih rendah, yang berkontribusi pada kapasitasnya untuk menghasilkan energi lebih besar dibandingkan bitumen.

Berdasarkan simulasi perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode Direct Method, terdapat perbedaan nilai efisiensi antara kedua jenis batubara. Untuk batubara bitumen, efisiensi boiler tanpa air heater tercatat sebesar 91%. Setelah penambahan air heater, efisiensi meningkat menjadi 93% dengan total kalor keluaran mencapai 119.672,59 kJ/jam. Sementara itu, untuk

batubara antrasit, efisiensi awal tanpa air heater adalah 96%, yang kemudian meningkat menjadi 97% setelah penambahan air heater, dengan total kalor keluaran sebesar 154.660,42 kJ/jam.

Perbedaan nilai efisiensi ini mengindikasikan bahwa batubara antrasit lebih unggul dibandingkan bitumen dalam menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna. Hal ini disebabkan oleh kandungan karbon yang memiliki kandungan lebih tinggi dan kadar air yang lebih rendah, sehingga dapat menghasilkan energi yang lebih besar dengan kehilangan panas yang lebih sedikit. Meskipun batubara bitumen lebih mudah terbakar, efisiensinya lebih rendah disebabkan oleh kadar air yang lebih tinggi dan residu pembakaran yang lebih banyak.

Penambahan air heater terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi pada kedua jenis batubara. Peningkatan efisiensi ini terjadi karena air heater memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gas buang digunakan untuk memanaskan udara yang akan digunakan dalam proses pembakaran.

sehingga meningkatkan temperatur udara masuk dan menjadikan proses pembakaran lebih optimal. Peningkatan efisiensi yang

lebih signifikan terjadi pada batubara bitumen, yaitu sebesar 2%, sementara pada batubara antrasit hanya meningkat 1%. Hal ini disebabkan oleh efisiensi awal antrasit yang sudah tinggi, sehingga penambahan komponen hanya memberikan kontribusi tambahan yang relatif kecil.

KESIMPULAN

Penelitian ini mengindikasikan bahwa kualitas batubara memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi boiler di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) supercritical. Batubara antrasit, yang memiliki kandungan karbon lebih tinggi dan kandungan air yang lebih rendah menunjukkan nilai kalor yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan batubara bitumen, sehingga menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Berdasarkan hasil simulasi, efisiensi boiler yang menggunakan batubara bitumen tercatat sebesar 91% tanpa air heater dan meningkat menjadi 93% setelah penambahan air heater. Sebaliknya, batubara antrasit menunjukkan efisiensi 96% tanpa air heater, dan meningkat menjadi 97% dengan penambahan air heater. Temuan ini menegaskan bahwa antrasit lebih unggul dalam menghasilkan energi dibandingkan bitumen.

Selain itu, penambahan air heater juga berkontribusi pada peningkatan

efisiensi, dengan peningkatan sebesar 2% pada batubara bitumen dan 1% pada batubara antrasit. Meskipun peningkatan efisiensi pada batubara antrasit relatif lebih kecil, hal ini disebabkan oleh efisiensi awal yang sudah tinggi. Dari perspektif praktis, antrasit memberikan performa terbaik, tetapi ketersediaannya lebih terbatas dan harganya lebih tinggi. Di sisi lain, batubara bitumen lebih mudah diakses dengan biaya yang lebih rendah, meskipun memiliki efisiensi yang lebih rendah. Oleh karena itu, pemilihan jenis batubara untuk PLTU harus mempertimbangkan keseimbangan antara aspek teknis, ekonomi, dan lingkungan. Secara keseluruhan, peningkatan efisiensi boiler dapat dicapai baik melalui penggunaan batubara berkualitas tinggi maupun dengan penambahan komponen pendukung seperti air heater, sehingga kinerja PLTU supercritical dapat dioptimalkan untuk memenuhi permintaan energi listrik yang terus meningkat.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pemilihan jenis batubara untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dilakukan dengan hati-hati, mempertimbangkan kualitas bahan bakar, ketersediaan, dan aspek ekonomi. Batubara antrasit lebih dianjurkan untuk digunakan jika tujuan utama adalah

peningkatan efisiensi dan penghematan konsumsi bahan bakar, meskipun biaya pengadaannya lebih tinggi. Di sisi lain, batubara bitumen masih dapat dipertimbangkan karena harganya yang lebih terjangkau, namun memerlukan teknologi pendukung seperti air heater untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.

Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan mengeksplorasi variasi campuran batubara, seperti blending antara batubara bitumen dan antrasit, untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi, biaya, dan ketersediaan bahan bakar. Penelitian selanjutnya juga diharapkan dapat mencakup analisis emisi gas buang, sehingga selain mempertimbangkan efisiensi energi, dampak lingkungan dari penggunaan berbagai jenis batubara juga dapat diperhitungkan sebagai dasar untuk pengambilan keputusan operasional di PLTU

DAFTAR PUSAKA

- Askeland, D. R. (2005). *The science and engineering of materials (5th ed., pp. 190-210)*. Cengage Learning.
- Borman, G. L. (1998). *Combustion engineering (pp. 255-275)*. McGraw-Hill.
- Çengel, Y. A. (2011). *Thermodynamics: An engineering approach (7th ed., pp. 420-440)*. McGraw-Hill Education.
- Elvi, M. I. (2019). *Evaluasi Kinerja Boiler PLTU Unit 1 Jeneponto*. Politeknik Negeri Ujung Pandang Makasar.
- Fay, J. A. (2002). *Energy and the environment (pp. 130-150)*. Oxford University Press.
- Glassman, I. Y. (2014). *Combustion (5th ed., pp. 305-328)*. Academic Press.
- Hougen, O. A. (1954). *Chemical process principles (pp. 340-360)*. Wiley.
- Irawan, Y. H. (2023). *Efektifitas Penggunaan Economizer Terhadap Performa Boiler Fire Tube*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.
- Kuo, K. K. (2005). *Principles of combustion (2nd ed., pp. 350-370)*. Wiley.
- Kusumadinata, A. R. (2014). *Analisis Efisiensi Boiler Dengan kapasitas Uap 1950 kg/jam*. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta.
- Kyle, B. G. (1984). *Chemical and process thermodynamics (2nd ed., pp. 289-310)*. Prentice-Hall.
- McAllister, S. C.-P. (2011). *Fundamentals of combustion processes (pp. 98-*

- 120). Springer.
- Prima, S. &. (2021). *Analisis Kualitas Batubara Terhadap Efisiensi Thermal Pembangkit Listrik Tenaga Uap PT.IP.UJP Sintang*. Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin.
- Rao, Y. K. (2006). *Stoichiometry and thermodynamics of metallurgical processes* (pp. 145-165). Cambridge University Press.
- Rao, Y. V. (1997). *Chemical engineering thermodynamics* (pp. 310-330). Universities Press.
- Smith, J. M. (2017). *Introduction to chemical engineering thermodynamics* (8th ed., pp. 210-230). McGraw-Hill Education.
- Smoot, L. D. (1993). *Coal combustion and gasification* (pp. 187-210). springer.
- Sonntag, R. E. (2009). *Fundamentals of thermodynamics* (7th ed., pp. 320-340). Wiley.
- Speight, J. G. (2012). *The chemistry and technology of coal* (3rd ed., pp. 145-170). CRC Press.
- Speight, J. G. (2013). *Coal-fired power generation handbook* (pp. 220-240). Scrivener Publishing.
- Turns, S. R. (2012). *Introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed., pp. 210-230). McGraw-Hill Education.
- Warnatz, J. M. (2006). *Combustion: Physical and chemical fundamentals, modeling and simulation, experiments, pollutant formation* (4th ed., pp. 240-260). Springer.
- Williams, F. A. (1985). *Combustion theory* (2nd ed., pp. 150-170). Benjamin Cummings.
- Wiser, W. H. (2000). *Energy resources: Occurrence, production, conversion, use* (pp. 175-195). Springer.