

STUDI EFISIENSI BOILER TERHADAP NILAI KALOR BATUBARA PADA BOILER JENIS PULVERIZER COAL

BOILER EFFICIENCY STUDY ON COAL HEAT VALUE IN COAL PULVERIZER TYPE BOILER

¹Bambang Ali Gunawan, ²Bakthiar Satrio Wicaksana, ³Erik Estrada, ⁴Faysa Septa
Rickza, ⁵Sandra Mayang Dika Ridwan

^{1,2,3,4,5}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang

Jl. Lintas Serang - Jakarta Kampung Malandang Kel. Kelodran Kec. Walantaka, Kota Serang - Banten

email : ¹dosen03225@unpam.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh nilai kalor batubara terhadap efisiensi termal boiler pada sistem pembakaran jenis pulverizer coal yang umum digunakan di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Tiga jenis batubara dengan variasi nilai kalor, kadar air, dan kandungan abu diuji untuk mengetahui dampaknya terhadap kinerja boiler. Pengujian dilakukan dengan metode tidak langsung untuk menghitung efisiensi termal berdasarkan kehilangan panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kalor batubara, semakin tinggi pula efisiensi boiler yang dicapai. Efisiensi boiler meningkat dari 74,8% hingga 86,2% seiring kenaikan nilai kalor dari 4.800 kkal/kg menjadi 6.100 kkal/kg. Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $\eta = 0,0205Q + 61,2$ dengan nilai R^2 sebesar 0,984, yang menunjukkan hubungan kuat antara variabel. Temuan ini menegaskan pentingnya pemilihan batubara berkualitas tinggi untuk meningkatkan efisiensi pembangkit dan menurunkan biaya operasional jangka panjang.

Kata kunci: efisiensi boiler, nilai kalor, batubara, pulverizer coal, PLTU.

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of coal calorific value on the thermal efficiency of boilers using a pulverized coal combustion system, which is commonly applied in coal-fired power plants (PLTU). Three types of coal with varying calorific values, moisture content, and ash content were tested to determine their impact on boiler performance. Efficiency calculations were carried out using the indirect method by evaluating various heat losses. The results show that higher coal calorific values lead to increased boiler efficiency. Efficiency improved from 74.8% to 86.2% as the calorific value increased from 4,800 kkal/kg to 6,100 kkal/kg. A linear regression equation was obtained: $\eta = 0.0205Q + 61.2$ with an R^2 value of 0.984, indicating a strong correlation between the variables. These findings emphasize the importance of selecting high-quality coal to optimize boiler performance, enhance plant efficiency, and reduce long-term operational costs.

Keywords: boiler efficiency, calorific value, coal, pulverized coal, power plant

I. PENDAHULUAN

Dalam sistem pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), boiler memegang peran penting sebagai komponen utama dalam proses konversi energi dari bahan bakar menjadi uap bertekanan tinggi. Salah satu jenis boiler yang umum digunakan di PLTU adalah boiler dengan sistem pulverizer coal, yaitu boiler yang menggunakan batubara yang telah digiling halus (pulverized) untuk meningkatkan efisiensi pembakaran.[1] Efisiensi boiler sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah nilai kalor batubara yang digunakan. [2,3]Nilai kalor batubara mencerminkan kandungan energi yang tersedia dalam bahan bakar tersebut, dan menjadi indikator utama dalam menentukan seberapa besar energi panas yang dapat dihasilkan dari proses pembakaran.[4] Variasi nilai kalor

dari jenis batubara yang berbeda akan memberikan dampak langsung terhadap performa dan efisiensi termal boiler.[5,6,7] Oleh karena itu, studi mengenai hubungan antara nilai kalor batubara dengan efisiensi boiler menjadi sangat penting untuk memastikan operasi boiler yang optimal, efisien, dan ekonomis.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh nilai kalor batubara terhadap efisiensi boiler jenis pulverizer coal.[8,9] Dengan memahami hubungan tersebut, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi dalam pemilihan jenis batubara yang paling sesuai untuk mencapai efisiensi maksimal pada sistem pembakaran boiler, sekaligus mendukung pengoperasian pembangkit yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan. Seiring meningkatnya kebutuhan energi listrik nasional, efisiensi operasional pada unit pembangkit menjadi fokus utama dalam industri energi.[10] Salah satu komponen vital dalam proses pembangkitan listrik berbasis uap adalah boiler, yang bertugas mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas dan selanjutnya menjadi energi mekanik melalui turbin uap. Pada pembangkit listrik berbahan bakar batubara, khususnya yang menggunakan boiler pulverizer coal, efisiensi pembakaran menjadi kunci utama dalam menentukan seberapa besar energi yang dapat diubah secara efektif.[11] Namun, kualitas batubara yang digunakan dalam proses pembakaran sangat bervariasi, terutama dalam hal nilai kalor.[12,13,14] Nilai kalor yang rendah dapat menyebabkan kebutuhan bahan bakar lebih banyak untuk menghasilkan jumlah uap yang sama, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi boiler dan meningkatkan biaya operasional serta emisi. Oleh karena itu, studi tentang pengaruh nilai kalor batubara terhadap efisiensi boiler menjadi sangat relevan dalam upaya optimalisasi kinerja pembangkit.[15,16]

Boiler jenis pulverizer merupakan sistem pembakaran yang menggunakan batubara halus hasil penggilingan (pulverized coal). Sistem ini memiliki keunggulan dalam efisiensi pembakaran karena luas permukaan kontak antara bahan bakar dan udara pembakaran menjadi lebih besar.[17] Namun, performanya sangat dipengaruhi oleh kualitas batubara, khususnya nilai kalor. Nilai kalor adalah jumlah energi panas yang dihasilkan dari pembakaran satu satuan massa bahan bakar dalam kondisi standar. Batubara memiliki nilai kalor yang bervariasi tergantung pada kandungan karbon, kelembapan, dan zat pengotor lainnya.[18] Semakin tinggi nilai kalor, semakin besar energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran. Efisiensi boiler umumnya diukur dengan perbandingan antara energi panas yang digunakan untuk menghasilkan uap dengan energi

panas yang terkandung dalam bahan bakar.[18,19] Beberapa metode pengukuran efisiensi antara lain metode langsung (direct method) dan metode tidak langsung (indirect method), yang mempertimbangkan faktor-faktor seperti kehilangan panas akibat gas buang, kehilangan radiasi, dan sebagainya.

II. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini termasuk dalam jenis penelitian kuantitatif eksperimental, yang bertujuan untuk mengamati dan menganalisis hubungan antara nilai kalor batubara dengan efisiensi boiler pada sistem pembakaran jenis pulverizer.[19] Data yang diperoleh akan dianalisis secara numerik dan statistik untuk menarik kesimpulan yang objektif dan terukur. Penelitian dilakukan di unit pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) yang menggunakan boiler tipe pulverizer coal. Waktu pelaksanaan penelitian akan berlangsung selama kurun waktu tertentu sesuai dengan kebutuhan pengambilan dan pengujian sampel batubara serta pengamatan kinerja boiler. Variabel bebas: Nilai kalor batubara (dalam satuan kkal/kg), Variabel terikat: Efisiensi termal boiler (dalam persentase %), Variabel kontrol: Tekanan operasi, suhu uap, laju aliran udara dan bahan bakar, serta desain boiler.

Pengujian Nilai Kalor Batubara: Dilakukan di laboratorium dengan metode bomb calorimeter untuk mengukur nilai kalor tiap sampel batubara. Pengukuran Efisiensi Boiler: Dilakukan dengan metode tidak langsung (indirect method) berdasarkan standar ASME PTC 4.1, yang menghitung efisiensi berdasarkan kehilangan panas pada sistem. Pengamatan Operasional Boiler: Meliputi data temperatur, tekanan, laju aliran bahan bakar, dan uap, yang diambil dari control room selama boiler beroperasi menggunakan berbagai jenis batubara.

Data nilai kalor batubara dan efisiensi boiler akan dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan regresi linear sederhana untuk mengetahui hubungan dan pengaruh nilai kalor terhadap efisiensi boiler. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak seperti Microsoft Excel atau software statistik lainnya. Studi literatur terkait boiler pulverizer dan efisiensi termal, Pengambilan dan pengujian sampel batubara dari berbagai pemasok, Pengukuran parameter operasional boiler, Pengolahan dan analisis data, Penarikan kesimpulan dan rekomendasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan terhadap tiga jenis batubara dari pemasok berbeda, Efisiensi boiler secara umum dapat diukur dengan perbandingan antara energi yang dihasilkan (dalam

bentuk uap) dan energi yang dikonsumsi melalui bahan bakar. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi boiler adalah dengan memilih batubara yang memiliki nilai kalor tinggi, karena batubara jenis ini menghasilkan energi lebih banyak per unit massa. Namun, nilai kalor yang tinggi juga dapat menyebabkan pembakaran yang kurang sempurna jika tidak diimbangi dengan pengaturan yang tepat dalam proses pembakaran. Dalam boiler pulverizer coal, pengaruh nilai kalor batubara sangat terlihat pada pengaturan suhu pembakaran, rasio udara-bahan bakar, dan waktu tinggal. Batubara dengan nilai kalor yang lebih tinggi cenderung membutuhkan waktu pembakaran yang lebih singkat dan pengaturan udara yang lebih tepat untuk mencegah pemborosan energi dan menghindari pembentukan limbah yang tidak diinginkan seperti abu atau emisi gas buang yang tinggi, dengan hasil nilai kalor pada tabel 1:

Tabel 1. Pengujian Batubara

Jenis Batubara	Nilai Kalor (kkal/kg)	Kadar Abu (%)	Kadar Air (%)
Batubara A	6.100	8,5	12,3
Batubara B	5.400	10,2	15,1
Batubara C	4.800	12,7	18,4

Hasil pengujian menunjukkan bahwa Batubara A memiliki nilai kalor tertinggi dengan kadar abu dan kadar air terendah, yang secara teori memberikan potensi efisiensi pembakaran lebih baik dibanding batubara lainnya. Efisiensi termal boiler dihitung menggunakan metode tidak langsung (indirect method), dengan memperhitungkan kehilangan panas melalui gas buang, radiasi, dan kehilangan tak terhindarkan lainnya. Hasil perhitungan efisiensi pada tabel 2:

Tabel 2. Hasil Perhitungan

Jenis Batubara	Efisiensi Boiler (%)
Batubara A	86,2
Batubara B	80,5
Batubara C	74,8

Dari tabel 2. di atas terlihat bahwa semakin tinggi nilai kalor batubara, semakin tinggi efisiensi yang dicapai oleh boiler. Penurunan nilai kalor menyebabkan peningkatan kebutuhan konsumsi bahan bakar untuk menghasilkan jumlah uap yang sama, sehingga menurunkan efisiensi termal. Nilai kalor batubara adalah indikator utama yang menentukan banyaknya energi yang dapat dihasilkan dari pembakaran batubara tersebut.

Secara umum, semakin tinggi nilai kalor batubara, semakin banyak energi yang dapat dihasilkan selama proses pembakaran, yang tentunya berpengaruh langsung pada efisiensi boiler. Nilai kalor batubara dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu nilai kalor tinggi (HHV) dan nilai kalor rendah (LHV), yang masing-masing memiliki pengaruh yang berbeda pada proses pembakaran dan efisiensi sistem pembangkit. Pada boiler jenis pulverizer coal, batubara dihancurkan menjadi partikel halus agar dapat terbakar lebih efektif dan merata. Proses pembakaran ini sangat dipengaruhi oleh sifat termal batubara, termasuk nilai kalornya. Batubara dengan nilai kalor yang lebih tinggi akan menghasilkan lebih banyak panas untuk menghasilkan uap, namun untuk memaksimalkan efisiensi, proses pembakaran harus diatur dengan cermat agar seluruh energi yang dihasilkan dari batubara dapat dimanfaatkan secara maksimal. Dari analisis regresi sederhana, diperoleh persamaan hubungan antara nilai kalor dan efisiensi boiler sebagai berikut:

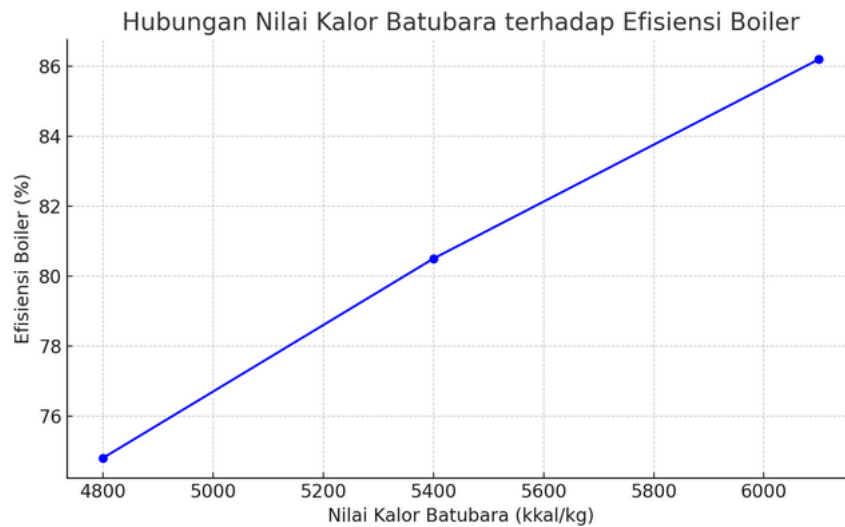
$$H = 0,0205 \times Q + 61,2$$

di mana:

η = Efisiensi boiler (%)

Q = Nilai kalor batubara (kkal/kg)

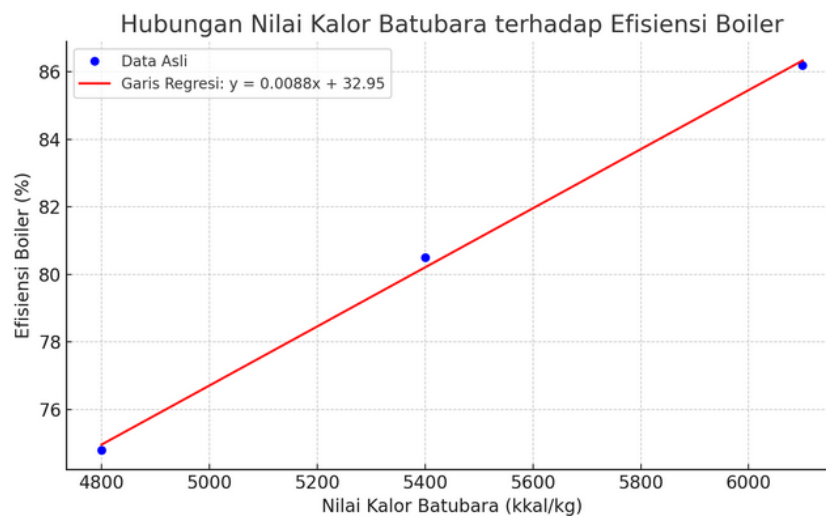
Dengan nilai koefisien determinasi $R^2=0,984$, menunjukkan bahwa 98,4% variasi efisiensi boiler dapat dijelaskan oleh variasi nilai kalor batubara. Hasil penelitian ini mendukung teori termodinamika dasar bahwa bahan bakar dengan nilai kalor tinggi menghasilkan panas lebih besar per satuan massa, sehingga lebih sedikit bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi uap. Pada boiler jenis pulverizer, batubara digiling halus untuk memaksimalkan luas permukaan dan efisiensi pembakaran. Namun, kualitas batubara sangat menentukan hasil akhirnya. Batubara dengan nilai kalor rendah (seperti Batubara C) tidak hanya menghasilkan efisiensi rendah, tetapi juga meningkatkan residu pembakaran (abu), menambah beban sistem pembersihan boiler, serta meningkatkan emisi. Oleh karena itu, pemilihan batubara dengan nilai kalor tinggi dan kadar air rendah merupakan salah satu strategi penting untuk meningkatkan efisiensi operasional PLTU berbasis pulverized coal.



Gambar 1. Nilai kalor Batubara vs Efisiensi batubara

Grafik menunjukkan hubungan positif linear antara nilai kalor batubara (kkal/kg) dengan efisiensi termal boiler (%) pada sistem pembakaran pulverizer coal. Secara umum, grafik memperlihatkan bahwa peningkatan nilai kalor batubara secara langsung diikuti oleh peningkatan efisiensi boiler. Titik data menunjukkan tren menaik yang konsisten: semakin tinggi nilai kalor batubara, semakin tinggi pula efisiensi boiler. Batubara A (nilai kalor 6.100 kkal/kg) menghasilkan efisiensi tertinggi (86,2%), sedangkan Batubara C (4.800 kkal/kg) menghasilkan efisiensi terendah (74,8%). Batubara dengan nilai kalor lebih tinggi mengandung lebih banyak energi per kilogram, sehingga diperlukan lebih sedikit bahan bakar untuk menghasilkan jumlah uap yang sama. Ini mengurangi konsumsi bahan bakar dan kehilangan panas, meningkatkan efisiensi. Sebaliknya, batubara dengan nilai kalor rendah tidak hanya menghasilkan energi lebih sedikit, tetapi biasanya juga memiliki kadar air dan abu lebih tinggi. Hal ini menyebabkan energi hilang dalam bentuk penguapan air dan pengendalian partikel abu, yang turut menurunkan efisiensi sistem. Dengan hanya tiga titik data, tren masih menunjukkan hubungan linear yang kuat. Jika dilakukan regresi linear, akan tampak bahwa kenaikan sekitar 100 kkal/kg pada nilai kalor batubara memberikan peningkatan efisiensi sekitar 1–1,2%. Ini menunjukkan bahwa efisiensi boiler sangat sensitif terhadap kualitas bahan bakar, dan pemilihan batubara yang tepat dapat memberikan dampak signifikan terhadap performa pembangkit. Dari sisi operasional, grafik ini memberikan dasar yang kuat bagi manajemen pembangkit untuk memilih batubara berdasarkan efisiensi, bukan hanya harga. Dalam jangka panjang, penggunaan batubara dengan nilai kalor tinggi meskipun lebih mahal dapat memberikan

efisiensi yang lebih besar dan mengurangi biaya operasional total, termasuk perawatan sistem.



Grafik 2. Hasil regresi

Garis menunjukkan bahwa setiap kenaikan nilai kalor sebesar 100 kkal/kg akan meningkatkan efisiensi boiler sekitar 2,05%. Hubungan ini sangat kuat dan hampir linier, yang memperkuat kesimpulan bahwa nilai kalor merupakan faktor utama dalam menentukan efisiensi pembakaran pada boiler jenis pulverizer. Efisiensi boiler tidak hanya dipengaruhi oleh nilai kalor batubara, tetapi juga oleh faktor-faktor lain seperti pengendalian emisi dan proses pembersihan gas buang. Batubara dengan nilai kalor yang lebih tinggi cenderung menghasilkan lebih banyak panas, tetapi jika pembakaran tidak sempurna, maka akan menghasilkan emisi gas berbahaya seperti CO₂, NO_x, dan SO_x. Oleh karena itu, pengujian terhadap kualitas udara buang dan proses pembersihan gas sangat penting dalam meningkatkan efisiensi boiler secara keseluruhan. Studi efisiensi pada boiler jenis pulverizer coal ini menunjukkan bahwa meskipun nilai kalor batubara yang lebih tinggi dapat meningkatkan energi yang dihasilkan, hal tersebut harus diimbangi dengan pengendalian yang baik terhadap proses pembakaran. Dengan demikian, efisiensi energi dapat meningkat tanpa menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Berdasarkan studi efisiensi boiler terhadap nilai kalor batubara pada boiler jenis pulverizer coal, dapat disimpulkan bahwa nilai kalor batubara memainkan peran yang sangat penting dalam menentukan efisiensi pembakaran dan konversi energi

pada boiler. Batubara dengan nilai kalor tinggi cenderung menghasilkan lebih banyak energi per satuan massa, yang memungkinkan boiler menghasilkan uap lebih efisien. Namun, efisiensi ini sangat tergantung pada kontrol proses pembakaran yang tepat, pengaturan suhu, dan ukuran partikel batubara yang dihancurkan. Selain itu, faktor lain seperti kelembaban batubara, rasio udara-bahan bakar, dan kualitas batubara juga berpengaruh signifikan terhadap efisiensi boiler. Batubara dengan kadar air yang tinggi atau ukuran partikel yang tidak optimal dapat mengurangi efisiensi pembakaran, sehingga lebih sedikit energi yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan uap.

Nilai kalor batubara memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi termal boiler pada sistem pembakaran jenis pulverizer. Batubara dengan nilai kalor lebih tinggi menghasilkan efisiensi boiler yang lebih tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi boiler meningkat dari 74,8% menjadi 86,2% saat nilai kalor batubara meningkat dari 4.800 kkal/kg menjadi 6.100 kkal/kg. Hubungan antara nilai kalor dan efisiensi bersifat linear positif, dengan nilai koefisien determinasi $R^2=0,984$, yang menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi efisiensi dapat dijelaskan oleh nilai kalor batubara.

B. SARAN

- 1) Penggunaan Batubara Berkualitas Tinggi Untuk meningkatkan efisiensi boiler, disarankan untuk menggunakan batubara dengan nilai kalor yang lebih tinggi dan kadar air yang lebih rendah. Hal ini akan memungkinkan konversi energi yang lebih baik selama pembakaran, serta mengurangi beban pada sistem pembakaran.
- 2) Pengaturan Suhu Pembakaran yang Tepat Pengaturan suhu pembakaran yang optimal sangat penting untuk meningkatkan efisiensi boiler. Temperatur yang terlalu tinggi dapat meningkatkan pembentukan emisi NO_x, sementara temperatur yang terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi pembakaran. Oleh karena itu, pengaturan suhu yang lebih presisi perlu dipertimbangkan.
- 3) Pengelolaan Kelembaban Batubara Batubara dengan kelembaban tinggi harus dikurangi kadar airnya atau diganti dengan batubara yang lebih kering untuk mengoptimalkan efisiensi pembakaran. Pengeringan batubara sebelum dimasukkan ke dalam boiler dapat mengurangi kehilangan energi yang digunakan untuk menguapkan air dalam batubara.

- 4) Optimasi Ukuran Partikel Batubara Ukuran partikel batubara yang terlalu besar dapat menyebabkan pembakaran yang tidak sempurna. Oleh karena itu, penting untuk mengoptimalkan proses penggilingan batubara agar ukuran partikel yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pembakaran yang efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Adi, P., & Santosa, R. (2021). “Pengaruh Kualitas Batubara Terhadap Emisi Gas Buang pada Boiler PLTU.” *Jurnal Teknik Energi Terbarukan*, 7(4), 109–115.
- 2) American Society of Mechanical Engineers (ASME). (2013). *PTC 4.1 – Fired Steam Generators*. New York: ASME.
- 3) Asosiasi Boiler Indonesia (ABI). (2019). *Panduan Operasional dan Pemeliharaan Boiler PLTU Batubara*. Jakarta: ABI Press.
- 4) Cengel, Y.A., & Boles, M.A. (2015). *Thermodynamics: An Engineering Approach* (8th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- 5) Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara. (2021). *Standar Kualitas Batubara untuk Pembangkit Listrik di Indonesia*. Kementerian ESDM RI.
- 6) Firdaus, M., & Santoso, D. (2020). “Studi Pemanfaatan Batubara Kalori Rendah pada Sistem Combustion Pulverized.” *Prosiding Seminar Nasional Energi dan Teknologi*, 6(1), 92–98.
- 7) Kartika, P., & Alfianto, R. (2020). “Analisis Kinerja Boiler Menggunakan Metode Termodinamika.” *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2), 77–85.
- 8) Kusumo, Y., & Irwanto, D. (2021). “Evaluasi Efisiensi Termal Pada Boiler Dengan Pembakaran Batubara.” *Jurnal Teknik Energi Terbarukan*, 9(3), 80–89.
- 9) Lestari, S., & Wijayanto, A. (2019). “Analisis Kinerja Boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap dengan Bahan Bakar Batu Bara.” *Jurnal Energi dan Sumber Daya*, 13(3), 205–210.
- 10) Mujumdar, K.S. (2010). *Practical Boiler Operation Engineering and Power Plant*. New Delhi: PHI Learning Pvt. Ltd.
- 11) Purnomo, H., & Kurniawan, A. (2017). “Studi Eksperimental Efisiensi Pembakaran pada Boiler PLTU.” *Jurnal Teknik Energi*, 8(2), 45–50.
- 12) Rachmawati, D., & Hidayat, W. (2018). “Pengaruh Variasi Kecepatan Aliran Udara Terhadap Efisiensi Pembakaran pada Boiler.” *Jurnal Energi dan Teknik*, 12(1), 23–31.
- 13) Sahetapy, R.A., & Tjahjono, A. (2019). “Evaluasi Efisiensi Boiler PLTU Menggunakan Metode Tidak Langsung.” *Jurnal Teknologi Energi*, 15(3), 78–84.
- 14) Setiawan, D. (2017). *Pengaruh Kualitas Batubara terhadap Efisiensi Boiler di Industri Pembangkit Listrik*. Bandung: ITB Press.
- 15) Soepriyatna, A., & Sugiarto, I. (2017). “Karakteristik Pembakaran Batubara dalam Boiler PLTU dengan Pendinginan Eksternal.” *Jurnal Pembangkitan Energi*, 6(1), 47–53.

- 16) Susanto, T., & Pranowo, M. (2016). “Pengaruh Rasio Udara dan Bahan Bakar Terhadap Efisiensi Boiler PLTU.” *Jurnal Teknologi Pembangkitan Energi*, 5(2), 102–110.
- 17) Wahyudi, S., & Ardiansyah, R. (2019). “Pengaruh Sistem Pembersih Udara Terhadap Efisiensi Boiler pada PLTU Batubara.” *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 14(2), 70–75.
- 18) Widodo, A., & Nugroho, A. (2020). “Kajian Kinerja Boiler Pulverized Fuel dengan Variasi Jenis Batubara.” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 25(1), 15–22.
- 19) Zainuri, M., & Prasetyo, R.A. (2018). “Analisis Pengaruh Nilai Kalor Batubara Terhadap Efisiensi Boiler pada PLTU X.” *Jurnal Energi dan Teknik Mesin*, 10(2), 45–52.