

Analisis Termal Pada Boiler PLTU XYZ Menggunakan Metode Langsung Berdasarkan Data Operasi Harian

Romi Djafar^{1*)}

¹⁾Teknologi Rekayasa Energi Terbarukan, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

*e-mail: romidjafarmesin@gmail.com

Received: 29-05-2025

Accepted: 01-06-2025

Published: 01-06-2025

ABSTRACT

Evaluasi kinerja boiler merupakan langkah penting dalam upaya efisiensi energi dan pengendalian biaya operasional di industri. Salah satu metode yang umum digunakan adalah metode langsung (direct method), yang menghitung efisiensi boiler berdasarkan perbandingan antara energi panas yang digunakan untuk menghasilkan uap dan energi panas yang dikandung bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi termal boiler dengan pendekatan langsung pada PLTU XYZ. Data yang dianalisis meliputi jumlah bahan bakar yang dikonsumsi, kandungan kalor bahan bakar, debit dan tekanan uap, serta temperatur air umpan. Hasil evaluasi termal menunjukkan bahwa efisiensi boiler berada pada nilai 80.3% tergantung pada kondisi operasi dan jenis bahan bakar yang digunakan. Sedangkan heat rate sebesar 4 kJ/kwh. Faktor-faktor seperti suhu gas buang, kelembaban bahan bakar, dan pengendalian pembakaran turut mempengaruhi hasil efisiensi. Evaluasi ini memberikan dasar bagi langkah-langkah perbaikan, seperti pengoptimalan sistem pembakaran dan pemanfaatan panas buang, guna meningkatkan efisiensi dan menurunkan konsumsi energi secara keseluruhan.

Keywords: efisiensi boiler, metode langsung, energi termal, evaluasi kinerja, pembakaran

ABSTRAK

Boiler performance evaluation is an important step in energy efficiency efforts and operational cost control in industry. One of the commonly used methods is the direct method, which calculates boiler efficiency based on the comparison between the heat energy used to produce steam and the heat energy contained in the fuel. This study aims to evaluate the thermal efficiency of the boiler with a direct approach at XYZ PLTU. The data analyzed include the amount of fuel consumed, fuel heat content, steam discharge and pressure, and feed water temperature. The results of the thermal evaluation show that the boiler efficiency is at 80.3% depending on the operating conditions and the type of fuel used. While the heat rate is 4 kJ / kw.h. Factors such as exhaust gas temperature, fuel humidity, and combustion control also affect the efficiency results. This evaluation provides a basis for improvement measures, such as optimizing the combustion system and utilizing waste heat, to increase efficiency and reduce overall energy consumption.

Keywords: boiler efficiency, direct method, thermal energy, performance evaluation, combustion

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang banyak digunakan di Indonesia karena kemampuannya dalam menghasilkan daya listrik dalam skala besar dan kestabilan operasionalnya. Didalam sistem PLTU, boiler memegang peran sentral dalam proses konversi energi, yaitu mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi termal yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap ini akan digunakan untuk memutar turbin yang terhubung dengan generator listrik (Nag, 2008). Jenis boiler yang umum digunakan di PLTU adalah *water tube boiler* karena mampu beroperasi pada tekanan dan temperatur tinggi dengan efisiensi yang lebih baik dibandingkan *fire tube boiler* (Ganapathy, 2003).

Efisiensi termal dari boiler sangat memengaruhi kinerja keseluruhan PLTU. Oleh karena itu, analisis efisiensi termal menjadi aspek penting dalam upaya peningkatan performa operasional, penghematan bahan bakar, dan pengurangan emisi. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menghitung efisiensi boiler adalah metode langsung (*direct method*), sebagaimana diatur dalam standar ASME PTC 4 dan juga dalam pedoman oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). Metode ini menghitung efisiensi berdasarkan perbandingan antara energi yang digunakan dalam bentuk uap yang dihasilkan terhadap energi input dari bahan bakar yang dibakar. PLTU XYZ sebagai salah satu penyedia tenaga listrik regional memiliki komitmen untuk menjaga kinerja operasional yang andal dan efisien. Oleh karena itu, diperlukan evaluasi berkala terhadap efisiensi termal dari boiler yang beroperasi.

Dengan menganalisis data operasi harian yang mencakup parameter seperti konsumsi bahan bakar, debit uap, tekanan, dan suhu, maka dapat dilakukan penilaian efisiensi aktual boiler dalam kondisi operasi nyata. Melalui analisis termal menggunakan metode langsung berbasis data operasi harian, diharapkan dapat diperoleh gambaran kinerja termal boiler secara lebih akurat dan aktual. Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai dasar untuk rekomendasi peningkatan efisiensi dan pengambilan keputusan operasional serta perawatan. Selain itu, analisis ini juga menjadi langkah awal menuju implementasi prinsip efisiensi energi dan keberlanjutan di sektor pembangkitan listrik. Beberapa penelitian sebelumnya telah

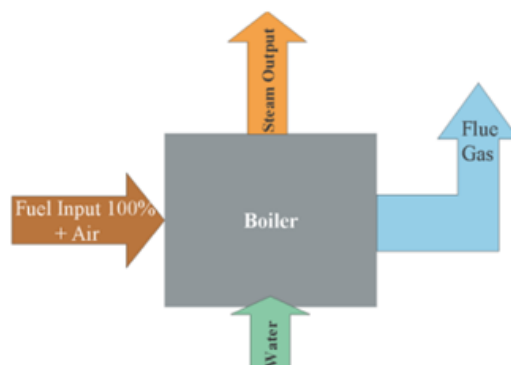
melakukan analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung. Misalnya, studi oleh Amna, Wahyuningsi, & Putra (2023) yang menganalisis efisiensi termal boiler di PLTU batubara dengan hasil efisiensi boiler berkisar antara 70–85%, tergantung pada kualitas bahan bakar dan kondisi operasi. Penelitian lain oleh Munisamy, Yusoff, Thangaraju, Hassan, & Ahmad (2015) menunjukkan bahwa pemantauan efisiensi harian dapat membantu mengidentifikasi deviasi performa sejak dini dan meningkatkan pemanfaatan energi secara keseluruhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi termal boiler dengan pendekatan langsung pada PLTU XYZ yang berkapasitas 2 x 25 MW menggunakan data harian.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan tujuan untuk menghitung efisiensi termal boiler pada PLTU XYZ dengan kapasitas daya turbin generator sebesar 2 x 25 MW menggunakan metode langsung (*direct method*). Penelitian ini bersifat studi kasus dengan menganalisis data operasi harian aktual dari unit boiler selama periode tertentu.

2.1 Metode Langsung (*Direct Method*)

Metode langsung untuk menghitung efisiensi boiler adalah pendekatan yang paling sederhana dan banyak digunakan, terutama dilapangan. Metode ini menghitung efisiensi berdasarkan perbandingan antara energi output (energi dalam uap) dengan energi input (energi dalam bahan bakar). Rumus dasar yang digunakan adalah rumus-rumus yang ditetapkan dalam standar BS EN 12952 dan ASME PTC 4.1. Skema efisiensi boiler metode langsung disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Efisiensi Boiler Metode Langsung

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode langsung (*Direct Method*) sebagaimana dijelaskan dalam standar ASME PTC 4.1.

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\text{Heat output}}{\text{Heat Input}} \times 100\%$$

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} \cdot (h_{\text{steam}} - h_{\text{water}})}{\dot{m}_{\text{fuel}} \cdot \text{HHV}} \times 100\%$$

Keterangan:

$\dot{m}_{\text{steam}}$ = Massa Uap (kg/s)

h_{steam} = Entalpi uap keluar boiler (kJ/kg)

h_{water} = Entalpi air masuk boiler (kJ/kg)

HHV = Higher Heating Value (kJ/kg) atau Kcal/kg)

Adapun konsumsi batubara yang dibutuhkan dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{\dot{m}_{\text{steam}} (h_{\text{steam}} - h_{\text{water}})}{\eta_{\text{boiler}} \cdot \text{HHV}}$$

Sedangkan analisis *heat rate* ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Heat Rate} = \frac{\text{Konsumsi Energi (Kcal)}}{\text{Energi Listrik (Kwh)}}$$

Semakin kecil *heat rate*, semakin efisien pembangkit tersebut.

2.2 Peran Data Operasi Harian

Data operasi harian boiler mencerminkan kondisi aktual operasional pembangkit dan sangat penting dalam analisis performa termal. Data seperti konsumsi bahan bakar harian, tekanan dan suhu uap, laju alir air umpan, serta efisiensi pembakaran memberikan gambaran yang lebih realistis dibandingkan asumsi teoritis. Analisis berbasis data riil ini mendukung proses pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam hal pemeliharaan, optimasi operasi, dan peningkatan efisiensi energi (Dewanatan, et al., 2020). Data operasi harian yang digunakan pada Penelitian ini adalah periode 7 – 13 April tahun 2024.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data CCR (Central Control Room) pada PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) XYZ mengacu pada data operasional dan pengendalian yang dikumpulkan dan dimonitor dari ruang kontrol pusat (CCR). Komponen Utama yang dapat dipantau dari CCR yaitu boiler, Turbin Uap, Generator dan sistem bahan bakar, Pendingin, sistem kelistrikan dan distribusi daya serta sistem kontrol emisi seperti yang di tunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Data CCR Boiler Combustion System PLTU XYZ

Data CCR berfungsi monitoring dan pengendalian kondisi operasional pembangkit secara real-time, deteksi dini gangguan atau potensi kerusakan, pengambilan keputusan berbasis data aktual dan optimasi operasi untuk efisiensi bahan bakar dan pengurangan emisi. Parameter data yang diperlukan untuk evaluasi boiler metode langsung berdasarkan data harian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Pengukuran Boiler Batubara

No.	Indikator	Nilai
Heat Output Data		
1	Quantity of steam generated (TPH)	53
2	Steam Pressure (MPa)	4.9
3	Steam Temperature (°C)	495
4	Steam Enthalpy (kJ/kg)	3365
5	Feedwater Temperature (°C)	150
6	Feedwater enthalpy (kJ/kg)	635
Heat Input Data		
1	Quality Of coal Consumed (TPH)	45
2	GVC Of Coal (Kcal/kg)	4000

Data yang terdapat dalam Tabel 1 yang digunakan untuk perhitungan efisiensi boiler metode langsung pada PLTU XYZ. Properties utama seperti tekanan boiler sebesar 4.9 Mpa, temperatur 459°C, entalpi uap 3365 kJ/kg dan laju *mass flow rate* sebesar 45 TPH. Oleh karena itu dapat dikatakan bahwa CCR dapat menampilkan data historis dan real-time seperti tren data operasional, alarm histori dan performa unit pembangkit.

3.1 Performa Parameter Boiler Berdasarkan Data Harian

Fungsi data harian PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) sangat penting untuk operasional, pemeliharaan, dan pengawasan kinerja pembangkit. Berikut adalah beberapa fungsi utama dari data harian PLTU. Berdasarkan Tabel 2 dapat diketahui bahwa rerata data harian rentang waktu tanggal 7 sampai 13 april 2024 cenderung konstan meskipun waktu pencatatan per enam 8 jam selama tiga kali dalam sehari. Hal ini dapat dipahami bahwa parameter data yang dihasilkan tidak banyak berubah signifikan jika dibandingkan dengan data diagram *heat balance*.

Tabel 3. Daya Operasi Boiler PLTU pada 7-13 April 2024

NO	Description	TAG No	Unit	Rata-Rata 6.00	Rata-rata 18.00	Rata-rata 00.00
1	Turbine inlet flow	1PI201	T/h	53	52	51.5
2	Main Steam temperature	1TI201	C	495	496	495
3	Condensate water pressure	1TI201	Mpa	0.22	0.23	2.23
4	Condensate water flow	1F1202	T/h	12.7	12.5	12.6
5	Condenser inlet temperature	1TI1211	C	30	30	31
6	Cond. water pressure	1PI206	MPa	1.7	1.6	1.7
7	Generator air inlet tep	1TI1214B	C	30	31	32
8	Inlet water temperature	1TI1215	C	31	32	32
9	outlet water temperature	1TI1218	C	37	37	40

3.2 Efisiensi Boiler Direct Method

Menurut standar seperti ASME PTC 4 bahwa Efisiensi boiler Direct Method (metode langsung) adalah rasio antara energi yang diberikan dalam bentuk uap yang dihasilkan terhadap energi yang diberikan dalam bentuk bahan bakar yang dibakar. Dalam praktiknya di lapangan, efisiensi metode langsung sering digunakan sebagai alat pemantauan

cepat untuk mengetahui apakah boiler bekerja dengan baik atau boros bahan bakar

$$\eta_{\text{boiler}} = \frac{((53 \cdot 1000 \times (3365.5 - 635.26))}{45 \cdot 1000 \times 4000} \times 100\%$$

$$= 80.3 \%$$

Berdasarkan evaluasi *direct method* efisiensi boiler pada kondisi *maximum continous rating* (MCR).

MCR adalah kapasitas maksimum boiler untuk menghasilkan uap secara kontinu dalam kondisi operasi normal, tanpa menyebabkan kerusakan atau penurunan performa komponen. MCR diukur

dalam satuan ton/jam atau kg/jam uap yang mewakili batas atas produksi uap secara berkelanjutan tanpa *overloading*.

Tabel 3. Data Harian PLTU XYZ

Tanggal	Beban Net (MW)	Konsumsi Batubara (ton)	Kalor Batubara (kcal/kg)	Tekanan Uap (bar)	Temperatur Uap (°C)	Heat Rate (kcal/kWh)	Efisiensi Termal (%)	Emisi CO ₂ (ton)
7-5-2024	25	45	4100	49.5	495	4.17	25	820
8-5-2024	24	43	42000	49.1	494.5	4.17	24	800
9-5-2024	20	40	4000	48.1	494	5.03	19.9	790
10-5-2024	25	44.5	4100	49.2	495	4.26	23.5	810
11-5-2024	24	44	4000	49.3	494	4.44	22.5	800

Dengan daya output turbin generator dari PLTU XYZ sebesar 2 x 25 MW adalah sebesar 80.3%. Jika dibandingkan dengan kondisi desain dari pabrikan manufaktur boiler diklaim efisiensinya sebesar 85%. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa deviasi penurunan efisiensi selama 8 tahun beroperasi sebesar 5%.

3.3 Heat Rate (HR)

Pada kondisi performa Pembangkit MCR diperoleh efisiensi termal 25.5% sehingga dapat di hitung efisiensi termal adalah sebagai berikut.

$$HR = \frac{1}{\eta_{th}} = \frac{1}{0,25} = 4 \text{ kJ / kW.h}$$

Laju panas yang diperlukan untuk membuat satu unit kerja menghasilkan 1 kilowatt energi listrik (kWh)/Btu disebut sebagai heat rate. Laju panas berbanding terbalik dengan efisiensi termal, dan jumlah heat rate yang rendah menunjukkan konsumsi bahan bakar yang rendah (Djafar, 2017).

IV. KESIMPULAN

Analisis direct method sangat bermanfaat sebagai alat pemantauan efisiensi yang praktis dan cepat, terutama dalam operasional sehari-hari. Efisiensi boiler berdasarkan hitungan direct method berdasarkan data harian dihasilkan sebesar 80.3% dengan *heat rate* untuk PLTU XYZ sebesar 4 kJ/kw.h.

DAFTAR PUSTAKA

- Amna, S., Wahyuningsi, A., & Putra, A. (2023). Analisis Efisiensi Boiler Tipe Circulating Fluidized Bed (CFB) dengan Metode Langsung di PT XY. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 14(2), 101-108.
- Dewanatan, W. W., Adiputra, M. K., Hakim, I. P., Zainuddin, A., Putro, I. K., & Cahyono, R. B. (2020). Peningkatan Efisiensi Energi Melalui Optimasi Cycle Steam Boiler pada Operasi Boiler: Studi Kasus di PT. Kaltim Methanol Industri (KMI). *Jurnal Rekayasa Proses*, 14(2), 182-188.
- Djafar, R. (2017). *Pengaruh X-ratio Air Preheater terhadap Performa PLTU Kapasitas 2x12,5 MW pada Variasi Beban Turbin 50%, 75%, dan 100% dengan Menggunakan Software Cycle Tempo*. Surabaya: Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ganapathy, V. (2003). *Industrial Boilers and Heat Recovery Steam Generators: Design, Applications, and Calculations*. New York: Marcel Dekker.
- Munisamy, K. M., Yusoff, M. Z., Thangaraju, S. K., Hassan, H., & Ahmad, A. (2015). Burner Tilting Angle Effect on Velocity Profile in 700 MW Utility Boiler. *IOP*

Conference Series: Materials Science and Engineering (hal. 1-5). Malaysia: IOP Publishing.

Nag, P. K. (2008). *Power Plant Engineering* (3rd ed.). New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing.