

Analisis Efisiensi *Boiler* Berbahan Bakar Gas di PT XYZ Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung

Galih Prasetyo Aji Gumelar, Mubarakah Nuriaini Dewi^{*)}, Ahmad Miftah, Wahyu Endranaka, dan Bentar Al Faridzal Eka S P

Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri Universitas Jayabaya

*) *Corrseponding Author*: mubidewi88@gmail.com

Abstract

A steam boiler is a device for generating steam, which consists of two important parts, namely the heating kitchen section to produce heat obtained from burning fuel and the proper boiler section to convert water into steam. The type of boiler used at PT. XYZ is a gas-fired boiler that functions as a heater in the production process. Boiler performance is very important to note, in order to smooth the production process and to get maximum quality of production. Therefore, it is necessary to carry out periodic analysis to ensure the feasibility of the boiler. One of the parameters used to analyze boiler performance is to calculate the efficiency value. Analyzing boiler efficiency using data collection methods including field studies and literature studies. The field study includes direct observation of the boiler working process at PT. XYZ and literature studies are carried out with library research that is relevant to the problem at hand. From observations and calculations, it was found that the boiler efficiency was 73.78% with the direct method, and 73.37% with the indirect method. The decrease in the efficiency of the boiler is due to the presence of scale in the pipes, which hinders the heat transfer process. However, the efficiency value of a gas fuel boiler is more efficient than a diesel fuel boiler which has an efficiency value of 65.23%.

Abstrak

Ketel uap (*boiler*) merupakan alat untuk menghasilkan uap, yang terdiri atas dua bagian penting yaitu bagian dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan bagian *boiler proper* untuk mengubah air menjadi uap. Jenis *boiler* yang digunakan di PT. XYZ adalah *boiler* berbahan bakar gas yang difungsikan sebagai pemanas dalam proses produksi. Performa *boiler* sangat penting diperhatikan, guna kelancaran proses produksi dan untuk mendapatkan kualitas hasil produksi yang maksimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis berkala guna memastikan kelayakan dari *boiler*. Salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisis performa *boiler* adalah dengan menghitung nilai efisiensinya. Menganalisis efisiensi *boiler* dengan menggunakan metode pengumpulan data meliputi studi lapangan dan studi pustaka. Studi lapangan meliputi pengamatan langsung terhadap proses kerja *boiler* di PT. XYZ dan studi pustaka dilakukan dengan penelitian pustakaan yang relevan dengan masalah yang dihadapi. Dari pengamatan dan perhitungan didapatkan nilai efisiensi *boiler* sebesar 73,78% dengan metode langsung, dan 73,37% dengan metode tidak langsung. Penurunan nilai efisiensi *boiler* dikarenakan adanya kerak pada pipa-pipa sehingga menghambat proses perpindahan panas. Akan tetapi nilai efisiensi *boiler* bahan bakar gas tersebut lebih efisien dibandingkan dengan *boiler* berbahan bakar solar yang mempunyai nilai efisiensi sebesar 65,23%.

Kata kunci : *Boiler, Efisiensi, Gas*

PENDAHULUAN

Ketel uap (*boiler*) adalah sebuah alat untuk menghasilkan uap yang terdiri atas dua bagian penting yaitu dapur pemanasan untuk menghasilkan panas yang didapat dari pembakaran bahan bakar dan *boiler proper* untuk mengubah air menjadi uap [1]. Prinsip kerja *boiler* yaitu air di dalam *boiler* dipanaskan oleh panas dari hasil pembakaran bahan bakar sehingga terjadi perpindahan panas dari sumber panas tersebut ke air. Hal tersebut mengakibatkan air menjadi panas atau berubah wujud menjadi uap. Air yang lebih panas memiliki berat jenis yang lebih rendah dibandingkan air yang lebih dingin sehingga terjadi perubahan berat jenis di dalam *boiler*. Air yang memiliki berat jenis yang lebih kecil akan naik dan sebaliknya air yang memiliki berat jenis yang lebih tinggi akan turun ke dasar. Menurut Febriantara [2], berdasarkan mekanisme fluida yang digunakan terdapat dua jenis *boiler* yaitu mesin *boiler* pipa api (*water tube boiler*) dan mesin *boiler* pipa air (*fire tube boiler*).

Pada proses produksi di PT. XYZ *boiler* yang digunakan yakni *boiler* dengan tipe *fire tube* sebagai pemanas. Pada umumnya, *boiler* dalam proses produksi digunakan selama 330 hari dalam setahun sehingga memungkinkan adanya penurunan kualitas serta efisiensi dari *boiler* tersebut. Pengukuran nilai efisiensi *boiler* tiap tahunnya sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi dari *boiler* karena akan mempengaruhi hasil produksi.

Efisiensi ketel uap (*boiler*) dinyatakan sebagai perbandingan panas sebenarnya yang digunakan untuk memanaskan air dan pembentukan uap terhadap panas hasil pembakaran bahan bakar [3]. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai efisiensi *boiler* antara lain *mass flow*, tekanan dan temperatur uap masuk *boiler*, serta tekanan dan temperatur uap keluar *boiler* [1]. Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar yang menghasilkan kalor [4]. Pembakaran yang sempurna akan dapat mengubah seluruh energi yang memungkinkan pada bahan bakar. Akan tetapi pada kenyataannya pembakaran sempurna dengan efisiensi 100% sangat sulit tercapai akibat kerugian (*loss*) pada instrumen pendukung [5] dan juga seiring dengan lamanya penggunaan suatu *boiler*.

Dalam penelitian ini, PT. XYZ menggunakan *boiler* tipe *fire tube* dengan bahan bakar berupa natural gas. *Boiler* tersebut diproduksi pada tahun 2005. Oleh karena itu, sangat diperlukan pengukuran efisiensi dari *boiler* tersebut untuk menentukan performa *boiler* dalam kondisi baik atau perlu dilakukan perawatan. Pengukuran efisiensi *boiler* dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode langsung dan metode tidak langsung.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan selama 1 (satu) bulan dari 21 Desember 2021 – 21 Januari 2022 di PT. XYZ. Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data dari PT. XYZ. Data yang digunakan adalah spesifikasi *fire tube boiler*, jenis bahan bakar, tekanan, suhu air umpan, jumlah pemakaian gas per jam, jumlah uap per jam, dan temperatur keluaran *boiler*

Tahap awal proses penentuan efisiensi *boiler* adalah mengumpulkan data-data yang tersedia antara lain data unit *boiler*, hasil ultimate natural gas, hasil pengukuran flue gas dan nilai kalor. Data unit *boiler* meliputi data tekanan, temperatur masukan, dan temperatur keluaran *boiler*. Data tersebut diubah menjadi entalpi panas, hg, dalam kJ/kg dan entalpi air umpan, dalam kJ/kg untuk mendapatkan nilai energi keluar dan energi masuk.

Tabel 1. Data Unit *Boiler*

No	Parameter	Unit	Operasi
1	<i>Steam flow</i>	Ton/h	35
2	<i>Steam pressure</i>	Bar	6,3
3	<i>Steam volume</i>	M ³ /h	200
4	<i>Natural gas</i>	Ton/h	2,3
5	<i>Steam temperature</i>	°C	120
6	<i>Feed water temperature</i>	°C	65
7	<i>GCV natural gas</i>	Kkal/kg	12000
8	<i>Make up water entalphy</i>	Kkal/kg	646,8
9	<i>Steam enthalphy</i>	Kkal/kg	65

Tahap kedua adalah perhitungan efisiensi *boiler* menggunakan dua metode yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Perhitungan *boiler* dengan metode langsung. Dilakukan dengan cara membandingkan secara langsung energi fasa yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap air (energi *output*), dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam energi ruang bakar *boiler* (energi *input*)[6]. Penentuan efisiensi dengan metode langsung dapat ditentukan menggunakan persamaan (1) :

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{Q(hg-hf)}{q \times \text{GCV}} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai η adalah efisiensi *boiler* (%), Q adalah jumlah *steam* yang dihasilkan (kg/jam), GCV adalah nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg) bahan bakar, hg adalah entalpi *steam* jenuh, hf adalah entalpi air umpan, q adalah jumlah bahan bakar yang digunakan kg/jam.

Tabel 2. Kelebihan dan Kekurangan Metode Langsung

Kelebihan	Kekurangan
Parameter primer dari definisi efisiensi bahan bakar <i>boiler</i> (input-output) dihitung secara langsung	Debit dan <i>heating value</i> bahan bakar, maupun debit dan <i>properties</i> uap air, harus dihitung seakurat mungkin untuk meminimalisir ketidaktepatan.
Hanya membutuhkan sedikit perhitungan	Tidak mampu menunjukkan potensi penyebab inefisiensi
Tidak memerlukan asumsi nilai untuk kerugian tak terukur.	Harus menggunakan metode tak-langsung untuk menilai tingkat keakuratan perhitungan.

Metode tidak langsung menggunakan standar acuan untuk uji *boiler* yaitu *British Standard, BS 645:1987* dan *USA standard ASME PT-4-1 Power Test Code Steam Generating Units*{7}[8]. Efisiensi dapat dihitung dengan persamaan (2) yaitu, mengurangi bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 100 - (A + B + C + D + E + F) \quad (2)$$

Nilai η adalah efisiensi *boiler* %, A adalah nilai kehilangan panas karena gas cerobong yang kering, B adalah nilai kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk H₂ dalam bahan

bakar, C adalah nilai kehilangan panas karena penguapan kadar air disebabkan kadar air dalam udara pembakaran, D adalah nilai bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang, E adalah nilai bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah, dan F adalah nilai radiasi dan kehilangan lain yang tidak dihitung.

Kehilangan yang diakibatkan oleh kadar air dalam bahan bakar dan yang disebabkan oleh pembakaran hidrogen tergantung pada bahan bakar, dan tidak dapat dikendalikan oleh perancangan. Data yang digunakan untuk perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode tidak langsung adalah :

1. Analisis ultimate bahan bakar (H₂, O₂, S, C, kadar air dan kadar abu)
2. Persentase oksigen atau CO₂ dalam gas buang
3. Suhu gas buang, °C (Tf)
4. Suhu ambien, °C (Ta)
5. Kelembaban udara, kg/kg udara kering.
6. GCV bahan bakar, kkal/kg
7. Persentase bahan yang dapat terbakar dalam abu (untuk bahan bakar padat)
8. GCV abu, kkal/kg (untuk bahan bakar padat)

Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan Metode Tidak Langsung

Kelebihan	Kekurangan
Perhitungan primer seperti analisa gas buang dan temperatur gas buang dapat dilakukan dengan sangat akurat	Membutuhkan perhitungan lebih banyak daripada metode langsung
Dapat dilakukan perbaikan perhitungan untuk mengejar standard yang ada ataupun untuk pemenuhan garansi	Tidak otomatis memberikan data kapasitas dan output
Memiliki tingkat ketidakpastian yang rendah, sebab perhitungan kerugian hanya mencerminkan sebagian kecil saja dari total konversi energi yang ada	Beberapa titik kerugian tidak dapat diukur sehingga nilainya harus diasumsikan
Dapat diketahui sumber kerugian terbesar	Pelu biaya tambahan untuk membayar teknisi <i>boiler</i>

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Efisiensi *Boiler* Secara Langsung

Analisis efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung. Data-data yang perlu diketahui adalah kapasitas produksi steam 35 ton/jam dan jumlah air umpan *boiler* 2,30 ton/jam. Dari data tersebut, entalpi steam jenuh dan entalpi air dapat diketahui dari steam tabel. Efisiensi *boiler* dapat dihitung menggunakan persamaan (1) berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi boiler } (\eta) &= \frac{(Q_{hg} - hf)}{q \times \text{GCV}} \times 100\% \\
 &= \frac{(35 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} (646,8 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}} - 65 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}))}{2,30 \frac{\text{ton}}{\text{jam}} \times 12000 \frac{\text{kkal}}{\text{kg}}} \times 100\% \\
 &= 73,78\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapatkan hasil efisiensi *boiler* sebesar 73,78%.

Perhitungan Efisiensi Boiler Secara Tidak Langsung

Analisis efisiensi menggunakan metode tidak langsung meliputi analisis kehilangan panas yang terdiri dari kehilangan panas karena gas kering cerobong, kehilangan panas karena penguapan kadar air yang disebabkan oleh H₂ dalam bahan bakar, kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar, kehilangan panas karena kadar air dalam udara, kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain. Persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (3) :

$$A = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (3)$$

Nilai A adalah persentase kehilangan panas karena gas kering cerobong, m adalah massa dari gas buang kg/kg bahan bakar, C_p adalah panas spesifik dari gas buang kJ/kg, T_f adalah temperatur dalam gas buang °C, T_a adalah temperature luar gas buang °C. Analisis persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air yang disebabkan oleh H₂ dalam bahan bakar, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4) :

$$B = \frac{9 \times H_2 \times (584 + 0,45(T_f - T_a))}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (4)$$

Nilai B adalah persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air yang disebabkan oleh H₂ dalam bahan bakar, C_p adalah panas spesifik dari *superheated steam* kcal/kg°C, T_f adalah temperatur dalam gas buang °C, T_a adalah temperatur luar gas buang °C dan 584 adalah nilai panas laten. Analisis persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (5) :

$$C = \frac{M \times (584 + 0,45(T_f - T_a))}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (5)$$

Nilai C adalah persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar, M adalah kg dari penguapan dalam 1 kg bahan bakar, C_p adalah panas spesifik dari *superheated steam* kcal/kg°C, T_f adalah temperatur dalam gas buang °C, T_a adalah temperatur luar gas buang °C dan 584 adalah nilai panas laten. Analisis persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam udara, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (6) :

$$D = \frac{AAS \times kelembaban \times 0,45(T_f - T_a)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \quad (6)$$

Nilai D adalah persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam udara, AAS adalah suplai udara per kg dari bahan bakar. Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain (F) yang tidak terhitung untuk *boiler* kecil diperkirakan sebesar 2%. Nilai efisiensi *boiler* dan rasio penguapan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2) :

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 100\% - (A+B+C+D+F) \quad (2)$$

Untuk menghitung rasio penguapan dapat menggunakan persamaan (7) :

$$\text{Rasio} = \frac{GCV \text{ bahan bakar} \times \text{efisiensi}}{(HHV - LHV)} \times 100\% \quad (7)$$

Tabel 4. Hasil Perkiraan Panas yang Hilang

No	Kondisi	Nilai (%)
1	Kehilangan panas karena gas kering cerobong	6,80
2	Kehilangan panas sebab penguapan kadar air karena adanya H ₂ dalam bahan bakar	11,78
3	Kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar	5,62
4	Kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam udara	0,43
5	Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain	2

Berdasarkan hasil pengamatan didapatkan efisiensi sebesar 73,78% dengan metode langsung dan 73,37% dengan metode tidak langsung. Turunnya efisiensi kerja *boiler* dapat diakibatkan karena kurangnya pemeliharaan sehingga timbul kerak pada aliran pipa-pipa di dalam *boiler* tersebut. Berdasarkan data tahun 2018 yang didapat dari PT. XYZ, bahwa *boiler* bahan bakar solar mempunyai efisiensi *boiler* sebesar 65,23%, maka dari kedua bahan bakar tersebut dapat dilihat bahwa bahan bakar gas lebih efisien. Dalam perhitungan efisiensi menggunakan dua metode yang memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap efisiensi *boiler* menggunakan dua metode yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Hasil nilai efisiensi menggunakan metode langsung sebesar 73,78%. Sedangkan nilai efisiensi menggunakan metode tidak langsung sebesar 73,37%. Penurunan hasil efisiensi *boiler* dikarenakan kerak pada aliran pipa-pipa di dalam *boiler* tersebut. Faktor lingkungan juga mengakibatkan penurunan efisiensi *boiler*. Efisiensi *boiler* berada dibawah standar kinerja yang baik (85%) sehingga perlu dilakukan perbaikan kinerja dari *boiler* tersebut.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. XYZ yang telah mengizinkan kami untuk melakukan kerja praktek, dan juga kami berterimakasih kepada dosen pembimbing yang telah membantu kami dalam menyelesaikan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Z. Chen, P. M. Singh, and Y. Do Choi, "Francis turbine blade design on the basis of port area and loss analysis," *Energies*, vol. 9, no. 3, 2016, doi: 10.3390/en9030164.
- [2] M. Sohaib and J. M. Kim, "Data driven leakage detection and classification of a boiler tube," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 12, pp. 1–12, 2019, doi: 10.3390/app9122450.
- [3] M. I. Syahputera, D. M. Kamal, and A. Ekayuliana, "Analisis Pengaruh Nilai Kalori Batubara terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Biaya Produksi Listrik," *Semin. Nas. Tek. Mesin*, pp. 474–483, 2018, [Online]. Available: http://semnas.mesin.pnj.ac.id/prosiding/2018_pdf/A054.pdf.
- [4] A. A. Kharisma and A. Budiman, "Perhitungan Efisiensi (Efficiency) Mesin Boiler Jenis Fire-Tube Menggunakan Metode Direct dan Indirect untuk Produk Butiran-Butiran Pelet," *UG J.*, vol. 14, pp. 23–31, 2020.
- [5] Y. Pravitasari, M. B. Malino, and N. Mara, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung," *Prism. Fis.*, vol. V, no. 01, pp. 9–12, 2017.

- [6] United Nation Environmental Program (UNEP). “*Boiler* and Thermic Fluid Heater”. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia
- [7] British Standard, BS 845:1987
- [8] USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units.