

## ANALISIS EFISIENSI *BOILER* HAMADA DENGAN *DIRECT* DAN *INDIRECT METHOD* DI PT DAYASA ARIA PRIMA

Ari Budi Prasajo<sup>\*1)</sup>, Lutfi Hakim<sup>\*2)</sup>, Achmad Rijanto<sup>\*3)</sup>

<sup>\*1,2,3)</sup>Universitas Islam Majapahit, Mojokerto

Email [Airoroxxy@gmail.com](mailto:Airoroxxy@gmail.com)

### ABSTRAK

*Boiler* merupakan suatu bejana yang tertutup dimana air yang dipanaskan menggunakan panas hasil dari pembakaran akan berubah menjadi uap, air yang berubah menjadi uap tersebut volumenya akan meningkat kurang lebih 1600 kali, sehingga pada tekanan tertentu uap dapat digunakan untuk dilanjutkan ke suatu proses. Oleh karena itu menganalisis efisiensi boiler dirasa sangat penting untuk menjaga performa boiler agar tetap dalam keadaan baik. Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi boiler, jika dihitung secara langsung dan mengetahui efisiensi boiler, jika dihitung secara tidak langsung. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental. Dari hasil analisis data, efisiensi boiler hasil perhitungan secara langsung (*direct method*) yakni sebesar 66,66 % dan secara tidak langsung (*indirect method*) yakni sebesar 53,84%.

**Kata kunci:** boiler, efisiensi, perhitungan langsung, perhitungan tidak langsung

### ABSTRACT

A boiler was a closed vessel where water that is heated using the heat from combustion will turn into steam, the volume of water that turns into steam will increase approximately 1600 times, so that at a certain pressure steam can be used to proceed to a process. Therefore, analyzing boiler efficiency was very important to maintain boiler performance in good condition. The objectives to be achieved in this study were to determine the efficiency of the boiler, if it was calculated directly and to know the efficiency of the boiler, if it was calculated indirectly. The method used was an experimental method. From the results of data analysis, the boiler efficiency calculated by the direct method was 66.66% and the indirect method is 53.84%.

**Keywords:** boiler, efficiency, direct calculation, indirect calculation

### PENDAHULUAN

Boiler merupakan suatu bejana yang tertutup dimana air yang dipanaskan menggunakan panas hasil dari pembakaran akan berubah menjadi uap, air yang berubah menjadi uap tersebut volumenya akan meningkat kurang lebih 1600 kali, sehingga pada tekanan tertentu uap dapat digunakan untuk dilanjutkan ke suatu proses (Fatimura, 2015). Oleh karena itu. Menganalisis efisiensi boiler dirasa sangat penting untuk menjaga performa boiler agar tetap dalam keadaan baik.

Banyak orang mengklasifikasikan ketel uap tergantung kepada sudut pandang masing-masing. ketel uap diklasifikasikan dalam kelas yaitu:

1. Berdasarkan fluida yang mengalir dalam pipa, maka ketel diklasifikasikan sebagai ketel pipa api (*fire tube boiler*) dan ketel pipa air (*water tube boiler*)
2. Berdasarkan pemakaiannya, ketel dapat diklasifikasikan sebagai Ketel stasioner (*stationary boiler*) atau ketel tetap dan ketel mobil (*mobile boiler*), ketel pindah atau portabel boiler.
3. Berdasarkan letak dapur (*furnace position*), ketel uap diklasifikasikan sebagai ketel dengan pembakaran di dalam (*internally fired steam boiler*), ketel dengan pembakaran di luar (*externally fired steam boiler*),
4. Berdasarkan jumlah lorong (*boiler tube*), ketel ini diklasifikasikan sebagai ketel dengan lorong tunggal (*single tube steam boiler*) dan ketel dengan lorong ganda (*multi tube steam boiler*).
5. Tergantung kepada poros tutup drum (*shell*), ketel diklasifikasikan sebagai ketel tegak (*vertical steam boiler*) dan ketel mendatar (*horizontal steam boiler*).
6. Menurut bentuk dan letak pipa, ketel uap diklasifikasikan sebagai ketel dengan pipa lurus, bengkok, dan berlekak-lekuk (*straight, bent and sinuous tubular heating surface*) dan ketel dengan pipa miring-datar dan miring-tegak (*horizontal, inclined or vertical tubular heating surface*).
7. Menurut sistem peredaran air ketel (*water circulation*), ketel uap diklasifikasikan sebagai ketel dengan peredaran alam (*natural circulation steam boiler*) dan ketel dengan peredaran paksa (*forced circulation steam boiler*).
8. Tergantung kepada sumber panasnya (*heat source*) untuk pembuatan uap, ketel uap dapat diklasifikasikan sebagai ketel uap dengan bahan bakar alami, ketel uap dengan bahan bakar buatan, ketel uap dengan dapur listrik dan Ketel uap dengan energi nuklir.
9. Berdasarkan prinsip kerjanya yaitu *Circulated Fluidized Bed (CFB)*, *Stoker Fired Boilers*, *Pulverize Fuel Boiler* dan *Boiler Limbah Panas HRS G (Heat Recovery Steam Generator)*

### **Perhitungan Efisiensi Boiler Secara Langsung**

Dikenal juga sebagai ‘metode *input-output*’ karena metode ini hanya memerlukan keluaran/*output* (steam) dan panas masuk/*input* (bahan bakar) untuk evaluasi efisiensi. Efisiensi ini dapat dievaluasi dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{panas masuk}}{\text{panas keluar}} \times 100\%$$

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

### Perhitungan Efisiensi Boiler Secara Tidak Langsung

Efisiensi dapat dihitung dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari 100 sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = 100 - (i + ii + iii + iv + v + vi + vii)$$

Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang yang kering

$$L1 = \frac{mf \times CPf \times (Tf - Ta)}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Persentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar

$$L2 = \frac{9 \times H2 \times \{584 + Cps (Tf - Ta)\}}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar

$$L3 = \frac{M \times \{584 + Cps (Tf - Ta)\}}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Persentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara

$$L4 = \frac{AAS \times kelembaban \times Cps \times Tf \times Ta}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Persentase kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*

$$L5 = \frac{\text{Total abu /kg bahan bakar} \times GCV \text{ abu}}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Persentase kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*

$$L6 = \frac{\text{Total abu/ Kg bahan bakar} \times GCV \text{ abu bwh}}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

Persentase kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

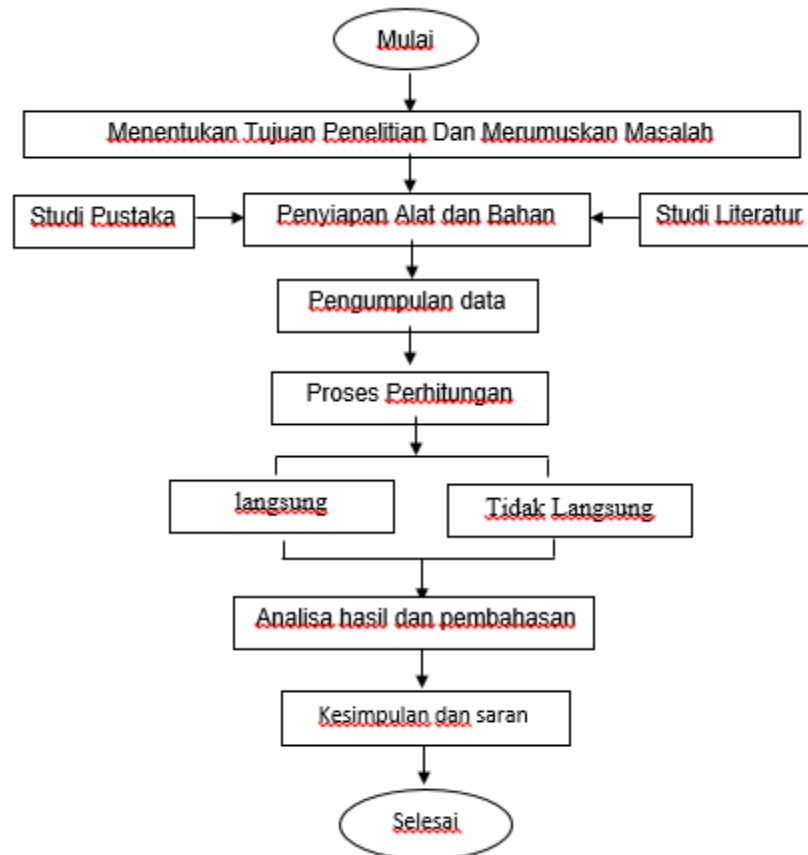
$$L7 = \frac{\text{radiation loss} \times A \text{ total}}{Q \times \text{CGV bahan bakar}} \times 100\%$$

Dimana :

$$\text{radiation los} = 0,548 \times \left[ \left( \frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left( \frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] \\ + 1,957 \times (T_s - T_a)^{1,25} \times \sqrt{\frac{196,85 \times vm + 68,9}{68,9}}$$

### METODE

Alur penelitian ini dimulai dengan tahap - tahap seperti pada gambar 1, sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Adapun alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

1. Boiler paket HAMADA.

Spesifikasi Boiler hamada yang digunakan pada penelitian:

- Tipe : DF-10-16
- *Rated Evaporation* : 10000 kg./hr.
- *Working Pressure* : 1.6 MPa
- *Steam temperature* : 204 °C
- *FBC effective heating surface* : 12.15 m<sup>2</sup>
- *Expanded zone heating area* : 33.61 m<sup>2</sup>
- *Convection tube heating area* : 217.92 m<sup>2</sup>
- *Economizer heating area* : 174.4 m<sup>2</sup>
- *Total effective heating area* : 438.08 m<sup>2</sup>
- *FBC base plate area* : 3.105 m<sup>2</sup>
- *No. of air nozzle* : 648 pcs.
- *Air hole opening ratio* : 2.55 0
- *Height of overflow* : 1050 mm
- *FBC area dimension* : 1350x2300 mm
- *Expanded zone dimension* : 2100x2980 m<sup>2</sup>
- *Expanded zone volume* : 27.67 m<sup>3</sup>
- *Fluidizing temperature* : 956 °C
- *Fluidizing hot air speed* : 3.4 m/s
- *Fluidizing cold air speed* : 0.84 m/s
- *Critical air speed* : 1.209 m/s
- *Fluidizing factor* : 2.812 N
- *E. zone outlet temperature* : 784.77 °C

2. Panel Instrumentasi Boiler Hamada

Panel instrumentasi yang dipakai pada penelitian, menunjukkan angka yang nantinya diolah dengan rumus yang telah ada untuk mencari

### Instrumen penelitian

Beberapa instrument penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut; *enthalpy saturated stefan, enthalpy feed water, fuel firing ade, dan gross calorific value.*

### Pengolahan Data

Sumber data terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh dari penelitian secara langsung (dari tangan pertama). Sementara data sekunder adalah data yang diperoleh peneliti dari sumber yang sudah ada. Sumber data diperoleh data observasi adalah data yang ditangkap. Data ini sekali jadi atau tidak dapat diulang diciptakan atau diganti. Data eksperimental adalah data yang dikumpulkan dari kondisi terkendali.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil observasi lapangan diketahui :

- a. *Pressure Steam* : 8,1 bar
- b. *Temperature Steam* : 175 °C
- c. *Pressure Feed Water* : 14 bar
- d. *Temperature Feed Water* : 105 °C
- e. Kebutuhan Bahan Bakar : 4400 kg/jam
- f. Laju *Steam* : 17538 kg/jam
- g. Kalori Batu Bara : 3813 kcal/kg
- h. Massa gas buang (mf) : 19 kg/kg bahan bakar
- i. Panas jenis gas buang (Cpf) : 0,23 kcal/kg
- j. *Temperature gas buang (Tf)* : 152 °C
- k. *Temperature udara sekitar (Ta)* : 32 °C
- l. *Panas jenis steam (Cps)* : 0,635 kcal/kg °C
- m. Kandungan H<sub>2</sub> : 4 %
- n. Kadar air dalam batu bara (M) : 30%
- o. Massa udara perkg batu bara : 12,3 kg
- p. Kelembaban udara : 0,0024 kg / kg udara kering

- q. CGV abu terbang : 452,5 kcal/kg  
 r. CGV abu terbang : 800 kcal/kg  
 s. Temperature sekitar boiler : 70 °C  
 t. *Wind velocity* : 2,15 m/s  
 u. Luas dinding boiler : 120 m<sup>2</sup>

### Perhitungan *Direct Method*

Untuk perhitungan secara langsung dapat diperoleh dari hasil perhitungan *pressure steam* sebesar 8,11bar dengan *Temperature* sebesar 175 °C dari Steam Table didapatkan hasil untuk  $h_g = 2773,1$  kJ/kg dari *steam*,. untuk  $h_f = 105$  kJ/kg dari *temperaruter feed water* sebesar 105 °C. dengan Laju *Steam* sebesar 17538 kg/jam. Sedangkan Kebutuhan batu bara 4400 kg/jam dengan nilai kalor 3813 kcal/kg. Panas jenis gas buang ( $C_{pf}$ ) 0,23 kcal/kg,

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{\text{panas masuk}}{\text{panas keluar}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times GCV} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 66,66 \%$$

Dari perhitungan diatas maka efisiensi boiler melalui perhitungan langsung (*direct method*) adalah 66,66%

### Perhitungan *Indirect Method*

Untuk mendapatkan kerugian kehilangan panas akibat gas buang kering dengan cara mengalikan Massa gas buang ( $m_f$ ) 19 kg/kg bahan bakar, Temperature gas buang ( $T_f$ ) 152 °C dikurangi udara sekitar ( $T_a$ ) 32 °C, setelah hasil didapatkan dibagi nilai kalor bahan bakar sebesar 2813 kcal/kg. maka didapatkan hasil sebesar 13,17%.

$$L1 = \frac{m_f \times C_{Pf} \times (T_f - T_a)}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

$$L1 = 13,17\%$$

Untuk kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya  $H_2$  dalam bahan bakar dengan mengalikan kandungan  $H_2$  pada batu bara sebesar 4%,

Panas jenis *steam* (Cps) 0,635 kcal/kg °C yang didapat dari steam table. Temperature gas buang (Tf) 152 °C dikurangi udara sekitar (Ta) 32 °C. lalu dibagi nilai kalor batu bara sebesar 3813 kcal/kg. maka didapatkan hasil 6,2%.

$$L2 = \frac{9 \times 0,04 \times \{584 + Cps (Tf - Ta)\}}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

$$L2 = 6,2 \%$$

Kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan bakar dapat dicari dengan cara mengalikan Kadar air dalam batu bara (M) 30%, Panas jenis steam (Cps) 0,635 kcal/kg °C yang didapat dari steam table. Temperature gas buang (Tf) 152 °C dikurangi udara sekitar (Ta) 32 °C. lalu dibagi nilai kalor batu bara sebesar 3813 kcal/kg. maka didapatkan hasil 5,16%

$$L3 = \frac{M \times \{584 + Cps (Tf - Ta)\}}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

$$L3 = 5,16\%$$

untuk langan panas karena kadar air dalam udara dengan cara mengalikan Massa udara perkg batu bara 12,3 kg, Kelembaban udara 0,0024 kg / kg udara kering, Panas jenis steam (Cps) 0,635 kcal/kg °C yang didapat dari steam table. Temperature gas buang (Tf) 152 °C , udara sekitar (Ta) 32 °C. lalu dibagi nilai kalor batu bara sebesar 3813 kcal/kg. maka didapatkan hasil 0,05%

$$L4 = \frac{AAS \times kelembaban \times Cps \times (Tf - Ta)}{CGV \text{ bahan bakar}} \times 100\%$$

$$L4 = 0,05\%$$

Untuk kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash* dengan cara mengalikan total abu 0,65 per kg bahan bakar dikalikan nilai kalor fly ash 452,5 kcal/kg, . lalu dibagi nilai kalor batu bara sebesar 3813 kcal/kg. maka didapatkan hasil 7,71%

$$L6 = \frac{\text{Total abu/ Kg bahan bakar} \times GCV \text{ abu terbang} \times 100}{CGV \text{ bahan bakar}}$$



$$L5 = 7,71 \%$$

Untuk kehilangan panas karena bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/*fly ash* dengan cara mengalikan total abu 0,65 perKg bahan bakar dikalikan nilai kalor fly ash 800 kcal/kg, . lalu dibagi nilai kalor batu bara sebesar 3813 kcal/kg. maka didapatkan hasil 13,63%

$$L6 = \frac{\text{Total abu/ Kg bahan bakar} \times \text{GCV abu bwh} \times 100}{\text{CGV bahan bakar}}$$

$$L5 = 13,63 \%$$

Untuk kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung dengan mengalikan kehilangan radiasi 337,235 W/m<sup>2</sup>, dibagi luass total penampang boiler 120 m<sup>2</sup>, lalu dibagi Kebutuhan batu bara 4400 kg/jam dengan nilai kalor 3813 kcal/kg, maka didapatkan hasil 0,24%

$$\begin{aligned} \text{radiation los} &= 0,548 \times \left[ \left( \frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left( \frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] \\ &+ 1,957 \times (T_s - T_a)^{1,25} \times \sqrt{\frac{196,85 \times vm + 68,9}{68,9}} \end{aligned}$$

$$\text{radiation los} = 337,235 \text{ W/m}^2$$

Maka:

$$L7 = \frac{\text{radiation loss} \times A \text{ total}}{Q \times \text{CGV bahan bakar}} \times 100\%$$

$$L7 = 0,24\%$$

Dari hasil perhitungan diatas maka didapatkan efisiensi broiler, jika dihitung secara tidak langsung (*indirect method*) yaitu sebesar 53,84%

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100\% - L1 - L2 - L3 - L4 - L5 - L6 - L7$$

$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 53,84\%$$

## SIMPULAN DAN SARAN

Analisis terhadap efisiensi boiler hasil perhitungan secara langsung (*direct method*) yakni sebesar 66,66 % dan secara tidak langsung (*indirect method*) yakni sebesar 53,84%. Penurunan nilai efisiensi boiler dikarenakan bahan bakar berupa batu bara yang tidak terbakar sempurna. Faktor lingkungan juga mengakibatkan penurunan efisiensi boiler yang dikarenakan abu terbang (*fly ash*) dan abu dalam (*bottom ash*) tidak terbakar sempurna. Selisih hasil perhitungan efisiensi boiler secara langsung (*direct method*) sebesar 66,66 % dan secara tidak langsung (*indirect method*) sebesar 53,84%, disebabkan karena pada perhitungan efisiensi boiler secara langsung (*direct method*) hanya menganalisa perbandingan kalor masuk dan kalor keluar. Sedangkan untuk perhitungan efisiensi boiler secara langsung (*direct method*) menganalisa berbagai macam kerugian seperti Gas cerobong yang kering, penguapan air yang terbentuk karena H<sub>2</sub> dalam bahan bakar, penguapan kadar air dalam bahan bakar adanya kadar air dalam udara pembakaran, bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu terbang/ *fly ash*, bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu bawah/ *bottom ash*, radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cengel , Y.A., & Boles, M.A. (1994). *Thermodynamics: An Engineering Approach 5th Edition*. United States of America : McGraw-Hill.
- Djokosetyardjo, M.J. (2003). *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita, Cetakan Kelima.
- Eastop, T. D. and D.R. Croft. (1990). *Energy Efficiency*. Harlow: Longman.
- Holman J P, (1997), *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Reynolds, W.C and Henry C. Perkin. (1977). *Engineering Thermodynamics*. Translated by filling Harahap. Jakarta: Erlangga.
- Syamsir A.Muin.(1988) .*Pesawat-pesawat konversi energi ( I ) : Ketel uap*. Jakarta : Rajawali.
- USA Standard ASME PTC-4-1 Power Test Code Steam Generating Units*.
- Winanti, w. S., & Prayudi, T. (2006). Perhitungan Efisiensi Boiler Pada Industri Industri Tepung Terigu. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Edisi Khusus, 58-65.
- Yolanda Pravitasaria., Mariana B. Malinoa., & Muhlasah Novitasari Marab. (2017). Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung. *Prisma Fisika, Vol. V, No. 01 (2017), Hal. 09 – 12*.