

# PERHITUNGAN EFISIENSI (*EFFICIENCY*) MESIN BOILER JENIS *FIRE – TUBE* MENGGUNAKAN METODE *DIRECT* DAN *INDIRECT* UNTUK PRODUK BUTIRAN – BUTIRAN PELET

<sup>1</sup>Aji Abdillah Kharisma

<sup>2</sup>Arif Budiman

<sup>1</sup>Universitas Gunadarma, ajiabdillah@staff.gunadarma.ac.id

<sup>2</sup>Universitas Gunadarma, arifbudiman1611@gmail.com

## ABSTRAK

*Boiler adalah suatu bejana atau tangki bertekanan tinggi yang berfungsi untuk menghasilkan uap panas atau steam. Permasalahan yang banyak terjadi dilapangan pada mesin boiler tidak berefisiensi dengan baik pada saat sistem kerja atau proses operasi dilapangan, khususnya pada saat proses dibawah keadaan operasi pada mesin boiler fire tube selalu mengalami heat loss pada sistem uap atau steam serta sistem bahan bakar yang mempengaruhi efisiensi mesin boiler fire tube tidak maksimal untuk hasil uap yang akan didistribusikan pada mesin pelet untuk menghasilkan produk butiran-butiran pelet. Oleh karena itu dengan kondisi tersebut diperlukan perhitungan efisiensi mesin boiler tipe fire tube yang baik guna memenuhi standar nilai efisiensi yang sesuai pada proses operasi di lapangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan efisiensi dikukan dengan dua metode yaitu metode langsung (*Direct*) dan metode tidak langsung (*Indirect*) serta penambahan komponen economizer pada mesin boiler fire tube. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dengan metode (*Direct*) mendapatkan nilai efisiensi 87%, sedangkan hasil perhitungan dengan metode (*Indirect*) 80,46%. Pada metode tidak langsung (*Indirect*) menambahkan komponen economizer, sehingga nilai efisiensi bertambah sekitar 12 %, Sehingga nilai total efisiensi dari metode tidak langsung (*Indirect Method*) adalah 92,46 %. Hasil nilai perhitungan efisiensi yang telah dilakukan dari dua metode yaitu metode langsung (*Direct*) dan tidak langsung (*Indirect*) memenuhi standar nilai efisensi dari mesin boiler yaitu  $\geq 80$  %.*

*Kata Kunci: Boiler Fire-tube, Efisiensi, Metode Direct & Indirect*

## PENDAHULUAN

*Boiler* merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air sampai terbentuk air panas atau *steam* berupa energi kerja. Air adalah media yang berguna dan murah untuk mengalirkan panas ke suatu proses. Air panas atau *steam* pada tekanan dan suhu tertentumempunyai nilai energi yang kemudian digunakan untuk mengalirkanpanas dalam bentuk energi kalor ke suatu proses. (Djokosetyardjo, 2006). Penggunaan dari mesin boiler dalam berbagai bidang sangat penting dan terutama dalam bidang teknik mesin sebagai contoh untuk pembuatan butir – butir

pelet. Kontek nya dalam prinsip kerja dari mesin boiler terkadang muncul suatu masalah seperti permasalahan diruang pembakaran dan permasalahan pada bagian air, khususnya permasalahan efisiensi pembakaran terjadi *heat loses* berupa (kehilangan panas) yang ada pada mesin boiler jenis *fire-tube* untuk penggunaan uap pada butiran – butiran pelet.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan tentang kinerja dari mesin boiler yaitu Analisa teknik evaluasi kinerja boiler *type IHI FW SE Single Drum* akibat kehilangan panas di PLTU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik dengan tujuan untuk

mengetahui efisiensi, faktor kehilangan panas, dan penyebab penurunan efisiensi, maka dari itu adanya kehilangan panas, perlu adanya perbaikan dalam control pengaturan bahan bakar dan udara yang masuk secara optimum untuk menghasilkan nilai efisiensi yang baik dan mengurangi faktor-faktor kehilangan panas yang terjadi pada gas buang kering (Putra Is & Dewata, 2011).

Oleh karena itu, upaya peningkatan efisiensi untuk menghindari pemborosan didalam penggunaan bahan bakar serta menekan biaya operasional. Kehilangan energi merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh untuk mengidentifikasi efisiensi pada boiler dengan menghitung perbandingan efisiensi mesin boiler *fire – tube* menggunakan metode langsung (*Direct Method*) dan Metode tidak langsung (*Indirect Method*) serta penambahan *economizer* untuk mendapatkan nilai efisiensi yang baik guna mengurangi *heat loses* pada kondisi operasi, agar uap panas yang dihasilkan dapat digunakan pada mesin pelet untuk pembuatan butiran-butiran pele.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengidentifikasi *heat loses* (kehilangan panas) pada mesin boiler jenis *fire tube* guna untuk mendapatkan nilai efisiensi mesin boiler *fire -tube* sesuai dengan standar operasi. Metode yang digunakan adalah perhitungan aktual dengan metode langsung (*Direct Method*) dan metode tidak langsung (*Indirect Method*) sesuai dengan persamaan-persamaan atau rumus dari berbagai literature serta metode observasi dan literatur, terjun langsung ke lokasi pengamatan, dan studi pustaka. Kemudian data hasil observasi dilapangan akan diolah dan dianalisis

dengan perhitungan metode langsung dan tidak langsung.

Adapun tahapan proses kerja mesin boiler *fire-tube* dan perhitungan efisiensi mesin boiler *fire tube* dengan metode langsung (*Direct Method*) dan metode tidak langsung (*Indirect Method*) dilakukan melalui diagram alir proses sebagai berikut.

## Tahapan Proses Kerja Mesin Boiler *Fire Tube Coachran*

Tahapan dalam proses kerja mesin boiler *fire tube* dimulai melalui tempat penyimpanan (*Water tank*) air umpan berkapasitas 5000 liter. Selanjutnya diteruskan ke proses pelunakan air (untuk menyaring tingkat kandungan ion  $Mg^{2+}$  dan  $Ca^{2+}$ ). Setelah melalui pelunakan air akan di proses ke tahap umpan bahan kimia yang berfungsi untuk meningkatkan kualitas air umpan dengan tekanan vakum 740 mmHg dan akan diteruskan ke proses pemanasan (gas alam sebesar  $5000 Nm^3$ ). Proses hasil uap basah digunakan untuk proses pembuatan butir pelet dengan suhu  $180^{\circ}C$ .

## Spesifikasi Mesin Boiler *Fire Tube*

Adapun spesifikasi dari Mesin Boiler *Fire Tube Coachran* adalah sebagai berikut :

1. Bahan bakar : Jenis *Natural Gas*
2. Kapasitas : 10 TON
3. Tekanan Maksimal : 30 Bar
4. Temperatur Maksimal :  $235^{\circ}C$

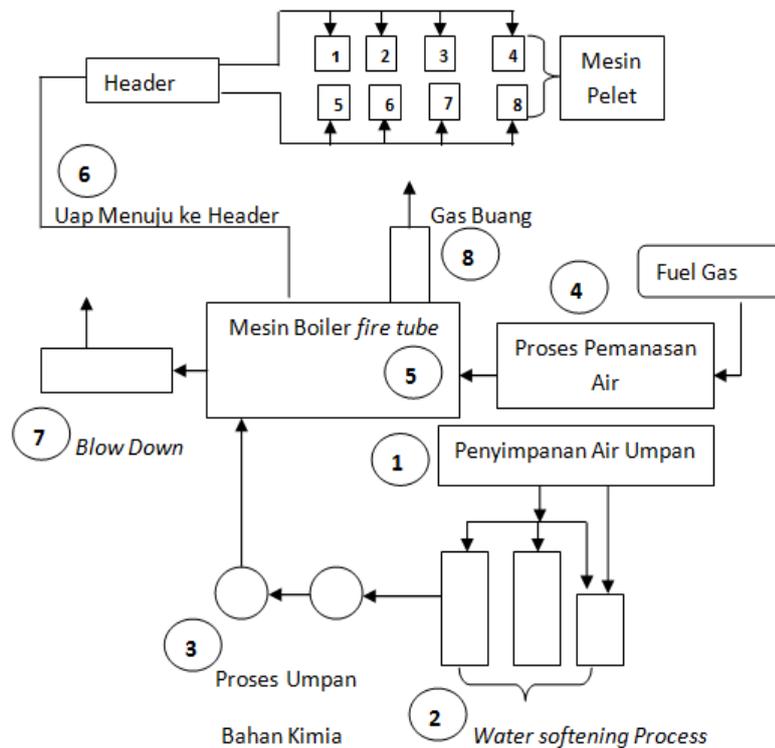
## Diagram Alir Perhitungan Efisiensi Mesin Boiler *Fire Tube*

Adapun diagram alir perhitungan Efisiensi mesin boiler *fire tube* adalah sebagai berikut.

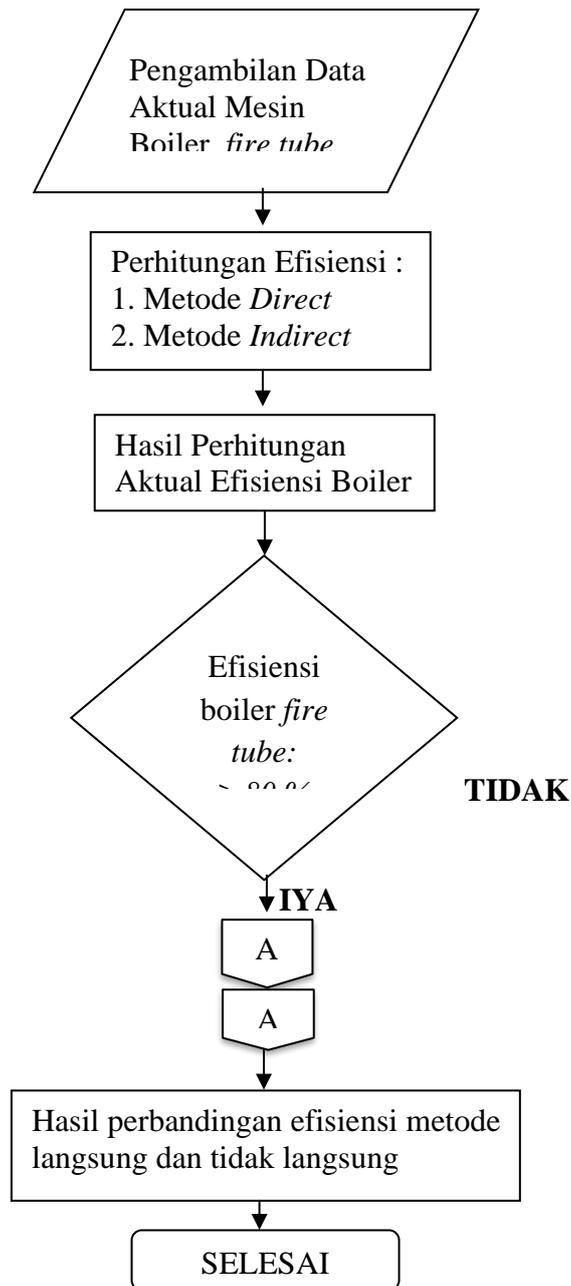
Tahapan dalam proses perhitungan efisiensi boiler jenis *fire tube* dengan menggunakan metode langsung (*direct*) adalah mencari nilai jumlah *steam* (Q), jumlah bahan bakar (q), entalpy steam jenuh (hg) dalam

kkal/kg steam, entalpy air umpan (hf) dalam kkal/kg air, dan nilai panas kotor bahan bakar (GCV) berdasarkan pengambilan data secara langsung dilapangan, kemudian melakukan proses perhitungan efisiensi mesin boiler *fire tube* dari hasil data diatas dengan metode langsung. Sedangkan perhitungan yang dilakukan dengan

menggunakan metode tidak langsung (*indirect*) meliputi mencari nilai kebutuhan udara, persen udara berlebih yang dipasok, massa udara yang di pasok, kehilangan panas, dan efisiensi mesin dari metode tidak langsung, serta nilai *performance* penambahan *economizer*.



**Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Proses Kerja Mesin Boiler *Fire Tube***



Gambar 1. Diagram Alir Proses Perhitungan Efisiensi Boiler *fire tube*

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini perhitungan efisiensi mesin boiler tipe *fire tube Cochran* dengan menggunakan metode langsung (*direct*) dan metode tidak langsung / *heat loss (indirect)*. Pada metode langsung tidak mampu menunjukkan potensi penyebab inefisiensi, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan aktual dengan metode tidak langsung (*indirect*) untuk menilai tingkat keakuratan perhitungan

seperti menghitung faktor presentasi kehilangan panas (*heat loss*) terhadap analisa gas buang kering dan temperatur gas buang sehingga dapat diketahui sumber kerugian tersebar agar dapat dilakukan evaluasi dari kerugian tersebut. Beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu Analisa teknik evaluasi kinerja boiler tipe *IHI FW SE Single Drum* akibat kehilangan panas yang berisi menganalisa hasil efisiensi dari boiler tipe *IHI FW SE*

*Single Drum* dengan metode tidak langsung yang berfungsi untuk mengetahui faktor kehilangan panas/*heat loss* serta mengetahui penyebab penurunan efisiensi Boiler (Putra Is, dewata., dkk, 2011).

#### **Data Mesin Boiler *Fire Tube***

Berikut adalah data hasil pengamatan dilapangan pada mesin boiler *fire tube* :

1. *Main steam: Pressure* (6 Bar), *Temperatur* (160 °C), *Flow* ( 3 T/Hr).
2. *Feed Water: Pressure* (3 Bar), *Temperatur* (65 °C), *Flow* ( 7 T/Hr).
3. Kapasitas Bahan Bakar gas: *flow* ( 170 Nm<sup>3</sup>/Hr).
4. Entalpi Uap: 2759 Kj/kg.
5. Entalpi Air: 272 Kj/kg.
6. GCV Natural Gas: 12000 Kkal/kg.

Deskripsi data diatas merupakan kebutuhan dari mesin boiler *fire tube* untuk menghasilkan *steam* atau uap. Hasil pengambilan data dilapangan tersebut akan di input dalam perhitungan secara aktual menggunakan metode langsung (*direct*).

#### **Data Perhitungan Analisa Efisiensi Mesin Boiler *Fire tube***

##### **Metode langsung (*Direct Method*)**

Data tersebut didapatkan berdasarkan pengambilan data dilapangan. Data yang diperoleh untuk metode langsung diperlihatkan pada tabel 1. Deskripsi data diatas dari nilai (Q, q, hf, hg dan GCV) akan digunakan untuk mencari nilai efisiensi boiler dengan metode langsung (*direct*). (Perhitungan 1).

Berdasarkan perhitungan efisiensi secara aktual dengan menggunakan metode langsung (*Direct Method*) mendapatkan nilai efisiensi mesin boiler *fire tube* adalah 87 %. Hasil tersebut menandakan mesin boiler *fire tube* memiliki efisiensi yang baik untuk beroperasi.

##### **Metode Tidak Langsung (*Indirect Method*)**

Data yang diperoleh untuk Metode Tidak Langsung (*Indirect Method*) diperlihatkan pada tabel 2.

Data diatas akan digunakan untuk melakukan proses perhitungan efisiensi mesin boiler *fire tube* dengan menggunakan metode tidak langsung (*Indirect Method*) dilakukan dengan beberapa tahapan perhitungan.

Adapun tahapan dalam perhitungan metode tidak langsung (*Indirect Method*) untuk menentukan efisiensi mesin boiler *fire tube* adalah sebagai berikut :

##### **Perhitungan Aktual (Kebutuhan Udara Teoritis)**

Hasil nilai 16,6 kg udara/kg bahan bakar merupakan hasil kebutuhan udara teoritis yang dibutuhkan untuk melakukan sistem pembakaran pada mesin boiler *fire tube* menggunakan data dilapangan dari penggunaan unsur persentase dari carbon, hidrogen, oksigen (Perhitungan 2).

##### **Perhitungan Aktual (Persen udara berlebih yang dipasok, EA).**

Hasil nilai 77,96 % persen udara berlebih yang dipasok berdasarkan unsur oksigen sudah memenuhi untuk melakukan proses pemanasan air pada mesin boiler (Perhitungan 3).

##### **Perhitungan Aktual (Massa udara yang di pasok / kg bahan bakar, AAS ).**

Hasil 13 % persentase nilai massa udara yang dibutuhkan dari nilai EA pada saat proses pemanasan air. Nilai tersebut sudah memenuhi untuk proses per kilo pembakaran bahan bakar (Perhitungan 4).

### Perhitungan Aktual (Kehilangan Panas, A) persentase Kehilangan Panas yang Diakibatkan Oleh Gas Buang Kering

Nilai 2,16 % memenuhi standar persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering. Batas standar yang diperbolehkan  $\leq 12,7$  % (Perhitungan 5).

### Persen kehilangan Panas (Penguapan air yang terbentuk oleh adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar, B)

Hasil nilai persentase panas (penguapan air yang terbentuk oleh adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar yaitu 15,3 % belum memenuhi standar karena melebihi nilai 8,1 %. Hal tersebut masih diijinkan karena dengan metode tidak mempunyai fungsi untuk menganalisa titik kerugian yang terjadi pada saat operasi sehingga dapat diperbaiki lebih lanjut (Perhitungan 6).

### Persen kehilangan panas oleh kadar air dalam udara, C)

Hasil nilai persen kehilangan panas oleh kadar air dalam udara yaitu 0,076 %. Nilai tersebut sudah memenuhi standar dalam perhitungan yaitu tidak lebih dari 0,3 %. Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung, D)=2 %. Hasil perhitungan efisiensi boiler *fire tube* dengan menggunakan metode tidak langsung (*Indirect Method*) adalah sebagai berikut (Perhitungan 6 dan 7).

### Perhitungan *performance* penambahan komponen *Economizer* pada efisiensi boiler *fire tube* pada

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

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{Q_x (h_g - h_f)}{q_x GCV} \times 100\% \\ &= \frac{3000 \text{ kg/jam} \times (658 \text{ kkal/kg} - 65 \text{ kkal/kg})}{170 \text{ kg/jam} \times 12000 \text{ kkal/kg}} \times 100\% \\ &= \frac{3000 \times (593)}{2040000} \times 100\% \\ &= \frac{1779000}{2040000} \times 100\% = 87\% \end{aligned}$$

(Perhitungan 1)

### metode tidak langsung (*Indirect Method*).

Penambahan komponen *Economizer* berfungsi untuk mendapatkan *performance* atau efisiensi yang lebih baik pada metode tidak langsung. Adapun perhitungan yang dilakukan (Tabel 3).

Deskripsi data diatas merupakan hasil data yang diambil dilapangan yang digunakan untuk melakukan proses perhitungan penambahan nilai efisiensi mesin boiler *fire tube* dengan menambahkan komponen *economizer*. Perhitungan dengan penambahan *economizer* meliputi perhitungan Q saturated, Q superheated,  $\Delta H$  Superheater.

Data perhitungan penambahan *economizer* untuk lebih berefisiensi lebih baik dari metode tidak langsung sebagai berikut (Perhitungan 7).

Perhitungan efisiensi secara aktual dengan menggunakan metode langsung (*Indirect Method*) mendapatkan nilai efisiensi mesin boiler *fire tube* adalah 80,46 % dan ditambahkan dengan nilai hasil penambahan *economizer* 12 %, Maka hasil akhir nilai efisiensi dari metode tidak langsung adalah 80,46 % + 12 % = 92,46 %. Dapat disimpulkan bahwa hasil metode tidak langsung lebih baik jika ditambahkan komponen *economizer* dan mendapatkan keuntungan dapat menganalisa bagian-bagian dalam proses perhitungan yang mengalami kerugian dan dapat diperbaiki pada proses kedepannya.

**Tabel 1.**  
**Data Parameter Untuk Metode Langsung (*Direct Method*)**

Parameter Metode langsung		
Deskripsi	Operasi	Satuan
Q, Jumlah Steam	3000	kg/jam
Q, Jumlah Bahan Bakar	170	kg/jam
Hf, Entalpi Steam Jenuh	65	kkal/jam
Hg, Entalpy Air Umpan	658	kkal/jam
GCV, Nilai Panas Kotor Bahan Bakar	12000	kkal/jam

*Note* : (PT. Indofood Sukses Makmur divisi Bogasari *Flour Mills*, 2019)

**Tabel 2.**  
**Data Fuel untuk Metode Tidak Langsung (*Indirect Method*)**

Data Fuel		
Deskripsi	Operasi	Satuan
Carbon, <b>C</b>	75,07	Wt%
Oxygen, <b>O<sub>2</sub></b>	0,65	Wt%
Sulfur, <b>s</b>	0	Wt%
Hydrogen, <b>H<sub>2</sub></b>	22,89	Wt%
Oxygen percentage, <b>o<sub>2</sub></b>	9,2	%
Carbon dioxide, <b>CO<sub>2</sub></b>	6,1	%
Gas exhaust temp, <b>T<sub>f</sub></b>	185	°C
Ambient temp, <b>T<sub>a</sub></b>	33	°C
Air humidity	1,033	kg/cm <sup>3</sup>
HHV	8000	kkal/nm <sup>3</sup>
LHV	12000	kkal/nm <sup>3</sup>

*Note* : (PT. Indofood Sukses Makmur divisi Bogasari *Flour Mills*, 2019)

**Perhitungan Aktual (Kebutuhan Udara Teoritis)**

$$\begin{aligned}
 &= \frac{[(11,6 \times C) + \{34,8 \times (H_2 - (\frac{O_2}{8}))\} + (4,35 \times S)]}{100} \\
 &= \frac{[(11,6 \times 75,07) + \{34,8 \times (22,89 - (\frac{9,2}{8}))\} + (4,35 \times 0)]}{100} \\
 &= 16,6 \text{ kg udara/ kg bahan bakar} \quad \text{(Perhitungan 2)}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Aktual (Persen udara berlebih yang dipasok, EA).**

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{Persen } O_2}{(21 - \text{persen } O_2)} \\
 &= \frac{9,2 \% \times 100}{21 - 9,2 \%} = 77,96 \% \quad \text{(Perhitungan 3)}
 \end{aligned}$$

**Perhitungan Aktual (Massa udara yang di pasok / kg bahan bakar, AAS ).**

$$= \left[ \frac{1+EA}{100} \right] \times \text{Udara Teoritis}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[ \frac{1 + 77,96\%}{100} \right] \times 16,6 \text{ kg udara/ kg bahan bakar} \\
&= 0,7896 \times 16,6 \text{ kg udara/ kg bahan bakar} \\
&= 13\% \text{ kg udara/kg bahan bakar} \qquad \qquad \qquad \text{(Perhitungan 4)}
\end{aligned}$$

**Perhitungan Aktual (Kehilangan Panas, A)**

**Persentase Kehilangan Panas yang Diakibatkan Oleh Gas Buang Kering**

$$\begin{aligned}
Q &= \frac{m \times cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \\
m &= \text{massa } CO_2 + \text{massa } S + \text{massa } O_2 + \text{massa } N_2 + \text{massa } O_2 \\
&= (6,1 + 0 + 0,65 + + 0,14 + 0,65) \\
&= 7,414 \text{ kg / kg bahan bakar} \\
Q &= \frac{7,414 \times 0,23 \times (185 - 33)}{12000} \times 100\% = 2,16\% \qquad \text{(Perhitungan 5)}
\end{aligned}$$

**Persen kehilangan Panas (Penguapan air yang terbentuk oleh adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar, B)**

$$\begin{aligned}
Q &= \frac{9 \times H_2 \times [584 + Cp (Tf - Ta)]}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \\
&= \frac{9 \times 0,23 \times [584 + 0,45 (185 - 33)]}{12000} \times 100\% \\
&= 15,3\% \qquad \qquad \qquad \text{(Perhitungan 6)}
\end{aligned}$$

**Persen kehilangan panas oleh kadar air dalam udara, C)**

$$\begin{aligned}
&= \frac{AAS \times \text{Faktor kelembaban} \times Cp (Tf - Ta)}{GCV \text{ bahan bakar}} \times 100\% \\
&= \frac{13 \times 1,033 \times 0,45 (185 - 33)}{12000} \times 100\% \\
&= 0,076\% \qquad \qquad \qquad \text{(Perhitungan 7)}
\end{aligned}$$

**Efisiensi boiler ( η ), metode tidak langsung :**

$$\begin{aligned}
&= 100\% - \text{Persentase kehilangan panas ( A + B + C + D )} \\
&= 100\% - ( 2,16\% + 15,3\% + 0,076\% + 2\% ) \\
&= 100\% - 19,536\% = 80,46\% \qquad \qquad \qquad \text{(Perhitungan 8)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q \text{ Saturated} &= m \times hg \text{ (saturated steam)} \\
&= 20 \text{ kg} \times 2778 \text{ kJ/kg} \\
&= 55560 \text{ kJ/kg} \times 0,24 \text{ kcal/kJ} \\
&= 13334,40 \text{ kcal/kg} \qquad \qquad \text{(Perhitungan 9)}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Q \text{ Superheated} &= m \times hg \text{ (superheated steam)} \\
&= 20 \text{ kg} \times 2827,9 \text{ kJ/kg} \\
&= 56558 \text{ kJ/kg} \times 0,24 \text{ kcal/kJ} \\
&= 13573,92 \text{ kcal/kg} \qquad \qquad \text{(Perhitungan 10)}
\end{aligned}$$

**Tabel 3.**  
**Data Pressure Dan Temperature (Steam) Untuk Perhitungan**  
**Performance Efisiensi Dengan Economizer**

Kondisi <i>pressure</i> dan temperatur ( <i>steam</i> )		
Deskripsi	Operasi	Satuan
Massa <i>steam</i>	20	kg
$T_{,saturated\ steam}$	174,2 °C	Celcius
$P_{,saturated\ steam}$	8	Bar
$hg_{,saturated\ steam}$	2778	kJ/kg
$T_{,superheated\ steam}$	200 °C	Celcius
$P_{,superheated\ steam}$	12	Bar
$hg_{,superheated\ steam}$	2827,9	kJ/kg

*Note:* (PT. Indofood Sukses Makmur divisi Bogasari *Flour Mills*, 2019)

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Superheater} &= Q \text{ Superheated} - Q \text{ Saturated} \\ &= 13573,92 \text{ kcal/kg} - 13334,40 \text{ kcal/kg} \\ &= 239,52 \text{ kcal/kg} \quad (\text{Perhitungan 11}) \end{aligned}$$

Jumlah panas yang dimanfaatkan dari *Economizer*:

$$\begin{aligned} &= \text{Entalpi BFW} + \Delta H \text{ Superheater} \\ &= 3017,09 \text{ kcal/kg} + 239,52 \text{ kcal/kg} \\ &= 3256,61 \text{ kcal/kg} \quad (\text{Perhitungan 12}) \end{aligned}$$

Nilai peluang penghematan energy menggunakan *economizer*:

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{jumlah panas yang dimanfaatkan}}{\text{jumlah energi input}} \\ &= \frac{3256,61 \text{ kcal/kg}}{26908,32} \times 100\% \\ &= 12 \% \quad (\text{Perhitungan 13}) \end{aligned}$$

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil data dan pengambilan data pada perhitungan efisiensi mesin boiler *fire tube* secara aktual dengan menggunakan metode langsung (*Direct Method*) dan metode tidak langsung (*Indirect Method*). Hasil perhitungan efisiensi dengan metode (*Direct*) mempunyai nilai efisiensi 87%, sedangkan hasil perhitungan

dengan metode (*Indirect*) 80,46 %. Pada metode tidak langsung (*Indirect*) menambahkan komponen *economizer*, sehingga nilai efisiensi bertambah sekitar 12%, Sehingga nilai total efisiensi dari metode tidak langsung (*Indirect Method*) adalah 92,46 %.

Hasil Faktor persentase nilai kerugian kehilangan panas terbesar pada Boiler Tipe *fire tube Coachran*

pada divisi PT. Indofood Sukses Makmur divisi Bogasari *Flour Mills* diakibatkan karena kehilangan panas pada gas buang kering dengan nilai sebesar 2,16 %. Sedangkan, faktor lain yang menyebabkan turunnya efisiensi mesin boiler *fire tube* pada divisi PT. Indofood Sukses Makmur divisi Bogasari *Flour Mills* diakibatkan juga oleh persentasi kehilangan panas yang disebabkan oleh kandungan penguapan air yang terbentuk oleh adanya hidrogen (H<sub>2</sub>) dalam bahan bakar berdasarkan hasil kondisi operasi dilapangan sebesar 15,3%.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Djokosetyardjo, M.J. (2006). Ketel Uap. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Eflita, Yohana. (2009). Perhitungan Efisiensi dan konversi". Ponorogo: Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Jurusan Teknik Mesin.
- Harijono, Djodjodihardjo. (1987). Termodinamika Teknik. Jakarta: PT.Gramedia.
- Holman, J.P., Jasfi, E. (1988). Perpindahan Kalor. Jakarta: Erlangga. M. Tambunan, F.H.K, B.E. (1984). Ketel Uap. Jakarta: Karya Agung.
- Moran, M.J., Shapiro, H.N. (2000). Termodinamika Tekni. Jakarta: Erlangga
- Muin A, Syamsir. (1998). Konversi Energi I (Ketel Uap). Jakarta: Penerbit Rajawali Pers.
- Putra Is, Dewata., dkk. (2011). Analisa teknik evaluasi kinerja boiler *type IHI FW SE Single Drum* akibat kehilangan panas di PLTU PT. PJB Unit Pembangkitan Gresik. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Yulita, Chartika G., dkk. (2010). Boiler Ketel Uap Pipa Api. Pekanbaru: Teknik Kimia Universitas Riau.