

# ANALISIS EFISIENSI ENERGI PADA *BOILER* INDUSTRI TIPE *FIRE-TUBE* KAPASITAS 2TON/JAM DENGAN BAHAN BAKAR *COMPRESSED NATURAL GAS (CNG)* DI PT.X

Achmad Husen

Institut Sains Dan Teknologi Nasional  
Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah, Jagakarsa, DKI Jakarta 12630  
[amd.husen69@gmail.com](mailto:amd.husen69@gmail.com)

## ABSTRAK

Boiler adalah suatu bejana atau tangki bertekanan tinggi yang berfungsi untuk menghasilkan uap panas. 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 kehilangan panas pada sistem uap atau steam serta sistem bahan bakar yang mempengaruhi efisiensi mesin boiler fire tube tidak maksimal untuk hasil uap. 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 dan metode tidak langsung. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi dengan metode langsung mendapatkan nilai efisiensi 81.04%, sedangkan hasil perhitungan dengan metode tidak langsung 85.65%. Hasil nilai perhitungan efisiensi yang telah dilakukan dari dua metode yaitu metode langsung dan tidak langsung memenuhi standar nilai efisiensi dari mesin boiler yaitu  $\geq 80\%$ .

**Kata Kunci:** Boiler Fire Tube, Efisiensi, Kehilangan Panas, Metode Langsung dan Tidak Langsung

## ABSTRACT

*Boiler is a high pressure vessel or tank that functions to produce hot steam. Problems that often occur in the field on boiler machines are not efficient well when the work system or operating process in the field, especially when the process is under operating conditions on a fire tube boiler engine always experiences heat loss in the steam or steam system and the fuel system which affects the efficiency of the engine. fire tube boilers are not optimal for steam output. Therefore, with these conditions, it is necessary to calculate the efficiency of a good fire tube type boiler engine in order to meet the appropriate efficiency value standards in the operating process in the field. The method used in this study is the calculation of efficiency carried out by two methods, namely the direct method and the indirect method. Based on the results of efficiency calculations using the direct method, the efficiency value is 81.04%, while the results of calculations using the indirect method are 85.65%. The results of the calculation of efficiency values that have been carried out from two methods, namely the direct and indirect methods meet the standard efficiency value of the boiler engine  $\geq 80\%$ .*

**Keywords:** Fire Tube Boiler, Efficiency, Heat Loss, Direct and Indirect Method

## 1. PENDAHULUAN

Efisiensi merupakan penilaian/tolak ukur suatu alat dalam berkerja. Efisiensi pada boiler adalah suatu tingkat kerja yang didapatkan dari proses perpindahan energi fluida yang ada pada boiler dengan ditambahkan bahan bakar yang digunakannya. Efisiensi ini juga berkaitan dengan *heat loss* pada sebuah boiler. *Heat loss* pada sebuah boiler biasanya disebabkan oleh berbagai kemungkinan seperti : panas yang terbawa keluar oleh gas buang tanpa air (*dry flue gas*), panas yang terbawa keluar oleh uap air panas, termasuk panas *sensible* dan *latent*, bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna termasuk *solid ash combustible*, CO dalam gas buang kehilangan panas dari dinding boiler melalui isolasi (radiasi dan konveksi), panas yang terbawa keluar bersama *blowdown*, kehilangan panas pembakaran tersebut yang disebut dengan rugi-rugi panas.(UG Jurnal. Vol. 14 2020)

Analisi evaluasi efisiensi energi pada boiler di PT. X dengan menggunakan metode langsung (*direct*) dan tidak langsung (*indirect*).

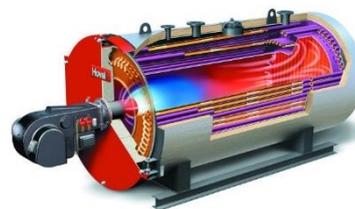
## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1 Pengertian *Boiler*/Ketel Uap

*Boiler*/Ketel uap adalah salah satu peralatan dibidang industri yang merupakan bejana tertutup dimana panas pembakaran dialirkan ke air hingga menghasilkan *steam*/uap yang bertekanan tinggi seperti yang terlihat pada gambar 2.1. Ketel uap berfungsi untuk mengubah energi kimia yang berada dalam bahan bakar menjadi *steam*/uap yang akan dimanfaatkan sesuai dengan kemauan pemakai produk tersebut.

Uap (*steam*) yang dihasilkan dari boiler digunakan untuk berbagai proses dalam aplikasi industri, seperti penggerak, pemanas, dan lain-lain. Pengoperasian boiler harus sesuai dengan standar operasi yang telah ditentukan oleh pengguna boiler maupun standar pabrik pembuat boiler itu sendiri. Standar yang dibuat akan menjamin

keamanan dalam pengoperasian, sehingga akan meningkatkan efisiensi ketel uap sekaligus menekan biaya operasional.



**Gambar 1.** Ketel Uap Sumber :  
("Mengenal Boiler ( Ketel Uap) pada Berbagai Pabrik Produksi," n.d.)

*Boiler* mempunyai berbagai alat utama seperti Penyala (*Burner*), *Blower*, dan lain-lain. Dengan banyaknya alat yang berada pada ketel uap tentunya ketel uap memerlukan komponen pengaman yang berada pada ketel uap tersebut. Komponen ini disebut *Appendages*. Contoh *Appendages* antara lain *safety valves*, gelas penduga (*sight glass*), dan manometer.

Hasil uap yang dihasilkan pada ketel uap dapat dibedakan menjadi 2 jenis. Berikut jenis-jenis hasil uap yaitu :

1. ***Low-Pressure Steam*** (Uap bertekanan rendah) adalah uap yang bertekanan tidak melebihi 15 psi dan temperturnya tidak melebihi 250° F. Uap jenis ini berguna dalam proses-proses industri dengan skala kecil seperti pemanasan air dalam suatu bangunan seperti universitas dan rumah sakit dan pemanas bahan bakar pada kapal laut.
2. ***High-Pressure Steam*** (Uap bertekanan tinggi) adalah uap yang bertekanan diatas 15 psi dan temperturnya melebihi 250° F. Uap jenis ini berguna untuk kegiatan industry dengan skala besar seperti pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pabrik pengolahan karet, dan sebagai sumber tenaga utama pada proses manufaktur.

### 2.2 Prinsip Kerja *Boiler*

Pada penelitian ini boiler yang diteliti berjenis *Fire-tube boiler*. *Boiler* pipa api merupakan pengembangan dari ketel lorong api dengan menambah pemasangan pipa -pipa api, dimana gas panas hasil

pembakaran dari ruang bakar mengalir didalamnya, sehingga akan memanasi dan menguapkan air yang berada di sekeliling pipa –pipa api tersebut dan menghasilkan *steam*/uap. Bahan bakar yang dipakai pada *boiler* ini adalah bahan bakar *Compressed Natural Gas* (CNG).

### 2.3 Bahan Bakar *Boiler*

Bahan bakar adalah segala bahan yang dapat dibakar, sehingga dapat energi kimia yang berada pada bahan tersebut dapat dikonversikan menjadi sumber energi yang baru. Pada *boiler* bahan bakar menjadi sumber utama energi yang digunakan pada proses penguapannya.

### 2.4 Reaksi Pembakaran

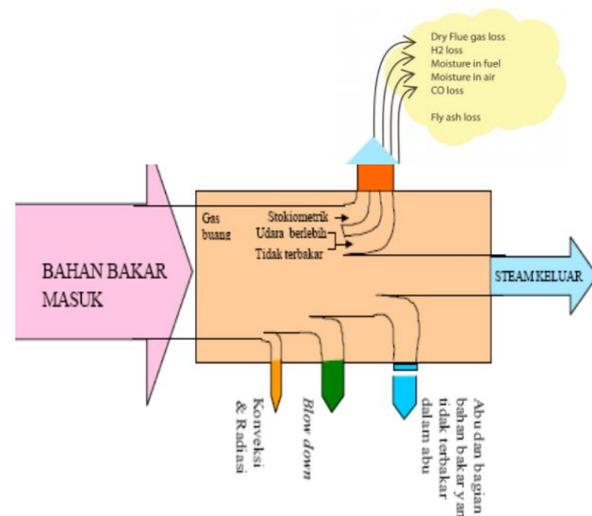
Reaksi pembakaran adalah reaksi kimia antara  $O_2$  (oksigen) yang didapatkan dari udara dan gas sisa pembakaran sebelumnya dengan bahan bakar dalam jangka waktu yang sangat cepat. Pada reaksi ini oksigen berperan sebagai oksidator, oksidator adalah substansi yang melepas *electron negative* dalam hal ini oksigen. Sedangkan bahan bakar sebagai substansi yang melepas panas ketika dioksidasi, bahan bakar ini biasanya mengandung unsur H (hydrogen), C (karbon), N (nitrogen), dan S (sulfur).

Proses pembakaran dapat terjadi dikarenakan ada 3 faktor yaitu, panas, bahan bakar dan oksigen. Teori ini disebut teori segitiga api. Namun seiring dengan berjalannya waktu teori ini dikembangkan menjadi teori *Tetrahedron of fire*. Selain dari ketiga faktor sebelumnya teori ini menyebutkan ada satu faktor tambahan terjadinya pembakaran yaitu reaksi berantai. Reaksi berantai disini menjelaskan bahwa ketika bahan bakar seperti hidrokarbon diberikan energi, ikatan-ikatan karbon akan terputus dan menyebabkan adanya radikal bebas. Radikal bebas tersebut menyebabkan reaksi yang berantai sehingga proses pembakaran akan terus berlangsung.

### 2.5 Neraca Kalor

Neraca kalor adalah diagram yang menggambarkan bagaimana proses pembagian energi yang terjadi pada

*boiler*/ketel uap tersebut. Pada gambar 2.2 (dijelaskan bahwa diagram Sankey menjelaskan bahwa sumber energi dari ketel ini adalah bahan bakar dan hasil yang didapatkan adalah *steam*).



**Gambar 2.** Diagram Sankey pada Boiler/Ketel Uap *Sumber : ("Energy Efficiency Guide for Industry in Asia!," n.d.)*

Bisa kita lihat pada Gambar 2.2 yang berwarna pink itu adalah energi yang dibawa bahan bakar masuk, dan digambar ini bisa dilihat adanya rugi-rugi atau panas yang lepas. Pertama ada yang hilang terbawa oleh gas buang, secara stokiometrik, udara berlebih, dan bahan bakar yang tidak terbakar. Kemudian ada juga rugi-rugi secara konveksi dan radiasi, kemudian rugi-rugi karena *blowdown*, karena air yang kita *blowdown* ini adalah air panas dan juga memiliki energi dari bahan bakar, kemudian juga bisa dari abu dan bagian bahan bakar yang tidak terbakar dalam abu.

### 2.6 *Excess Air* (Udara yang berlebih)

*Excess Air* adalah persentasi jumlah oksigen yang berlebih pada udara hasil pembakaran. Hasil dari pembakaran yang tidak sempurna adalah CO (karbon monoksida) hal ini disebabkan unsur oksigen yang kurang sehingga tidak terbentuknya  $CO_2$  (karbon dioksida). Peran *Excess Air* pada proses ini adalah sebagai pengatur udara yang masuk untuk proses

pembakaran. Sehingga hasilnya mencapai hasil yang optimum.

Faktor yang menentukan besar kecilnya persentase adalah jenis bahan bakar, desain boiler, dan beban boiler. Umumnya, boiler berbahan bakar batubara menggunakan 15% hingga 30% excess air. Untuk boiler yang menggunakan bahan bakar gas atau minyak fosil, mereka membutuhkan lebih sedikit excess air. Boiler gas membutuhkan excess air 5% hingga 10%, sedangkan boiler berbahan bakar minyak membutuhkan excess air 3% hingga 15%.

### 2.7 Jenis Steam/Uap

1. **Uap Panas Lanjut** adalah sebuah fase air yang telah melewati fase saturasi dengan menyerap lebih banyak energi panas, sehingga keseluruhan fluida air sudah memiliki fase gas murni.
2. **Uap Kering** adalah uap yang didapat dengan pemanas lanjut dari uap jenuh dimana pada tekanan terbentuk dan dapat diperoleh beberapa jenis uap kering dengan suhu yang berlainan.
3. **Uap Basah** adalah uap jenuh yang bercampur dengan bagian-bagian air yang halus yang temperaturnya sama.

### 2.8 Efisiensi Boiler/Ketel Uap

Efisiensi adalah parameter kinerja dari sebuah alat. Efisiensi boiler dapat didefinisikan sebagai seberapa optimal sebuah boiler dapat mengubah fluida yang berada pada boiler dan mengkonversi energi kimia pada bahan bakar untuk diubah menjadi steam/uap yang dihasilkannya.

Efisiensi pada boiler bisa didapatkan dengan 2 metode yaitu metode langsung (input-output) dan metode tidak langsung (heat loss). Nilai efisiensi yang ideal biasanya berkisar 70%-90%. Metode langsung atau yang sering disebut dengan metode direct adalah suatu metode perhitungan untuk mencari efisiensi sebuah boiler yang membandingkan antara energi yang terkandung pada bahan bakar boiler dengan energi yang terkandung pada steam yang dihasilkan. Berikut perhitungan efisiensi dengan metode direct:

$$Efisiensi (\eta) = \frac{Q \times (h_g - h_r)}{q \times GCV} \times 100 \quad (1)$$

Dimana :

- Q = Jumlah Steam yang dihasilkan per jam (kg/jam)
- $h_g$  = Entalpi steam jenuh (kkal/kg)
- $h_r$  = Entalpi air umpan (kkal/kg)
- q = Jumlah bahan bakar yang digunakan per jam (kg/jam)
- GCV = Nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg)

Lalu untuk metode tidak langsung atau yang sering disebut dengan metode indirect adalah suatu metode perhitungan untuk mencari suatu efisiensi sebuah boiler dengan cara menghitung nilai panas yang nilai (heat loss).

$$\eta = 100 - \text{jumlah heatloss} \quad (2)$$

Heat loss yang terjadi pada sebuah boiler disebabkan oleh beberapa hal diantara lain :

- Dry Flue Gas
- Kandungan  $H_2$  pada bahan bakar
- Penguapan kadar air pada bahan bakar
- Kandungan air pada udara pembakaran
- Bahan bakar yang tidak terbakar pada abu terbang (fly ash)
- Bahan bakar yang tidak terbakar pada abu bawah (bottom ash)
- Persen kehilangan karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung

Bedasarkan penjabaran diatas heat loss yang disebabkan oleh kandungan  $H_2$ , penguapan kadar air, dan bahan bakar yang tidak terbakar tergantung jenis dan bahan bakar yang dipakai pada boiler tersebut. Berikut ini merupakan persamaan heat loss yang terjadi pada boiler

- Dry Fuel Gas (Lg)

$$Lg = \frac{W_{dg} \times C_p \times (T_g - T_{ra})}{GCV \text{ bahan bakar}} \quad (3)$$

Dimana :

- $W_{dg}$  = berat total udara
- $C_p$  = Panas jenis flue gas
- $T_g$  = Suhu gas buang ( $^{\circ}C$ )
- $T_{ra}$  = Suhu ambient/suhu ruangan ( $^{\circ}C$ )
- GCV = Nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg)

- Penguapan kadar *moisture* pada bahan bakar ( $L_{mf}$ )

$$L_{mf} = \frac{W_a \times (h_g - h_r)}{GCV \text{ bahan bakar}} \quad (4)$$

Dimana :

$W_a$  = berat *moisture* dalam bahan bakar

$h_g$  = Entalpi steam jenuh (kkal/kg)

$h_r$  = Entalpi air umpan (kkal/kg)

GCV = Nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg)

- *Heat loss* dari Hidrogen ( $L_H$ )

$$L_H = \frac{n \times W_w \{H_{latent} + C_p(T_s - T_{ra})\}}{GCV \text{ bahan bakar}} \quad (5)$$

Dimana :

$n$  = berat mol

$W_w$  = berat  $H_2O$  dalam proses pembakaran

$H_{latent}$  = panas *latent*

$C_p$  = Koefisien panas *flue gas*

$T_s$  = Suhu steam ( $^{\circ}C$ )

$T_{ra}$  = Suhu ambient/suhu ruangan ( $^{\circ}C$ )

GCV = Nilai panas kotor bahan bakar (kkal/kg)

## 2.9 Pengertian Metode Langsung dan Metode Tidak Langsung

### 2.9.1 Metode Langsung

Metode langsung, atau dikenal juga sebagai metode *input-output*, dilakukan dengan jalan membandingkan secara langsung

energi panas yang diserap oleh air sehingga berubah fase menjadi uap air (energi *output*), dengan energi panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar *boiler* (energi *input*).

### 2.9.2 Metode Tidak Langsung

Metode Tidak Langsung: atau metode kehilangan panas. Untuk menghitung efisiensi dengan mengurangi bagian kehilangan panas dari rugi-rugi energi.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini akan membahas *Boiler* Industri Kapasitas 2TON/JAM. Sesuai

dengan rumusan masalah kita akan melihat nilai efisiensi *boiler* dikarenakan adanya penurunan nilai efisiensi dalam boiler tersebut. Dengan mengusut hal apa saja yang berpengaruh dalam efisiensi *boiler* diharapkan kita dapat menyelesaikan masalah tersebut.

### 3.2 Spesifikasi Ketel Uap

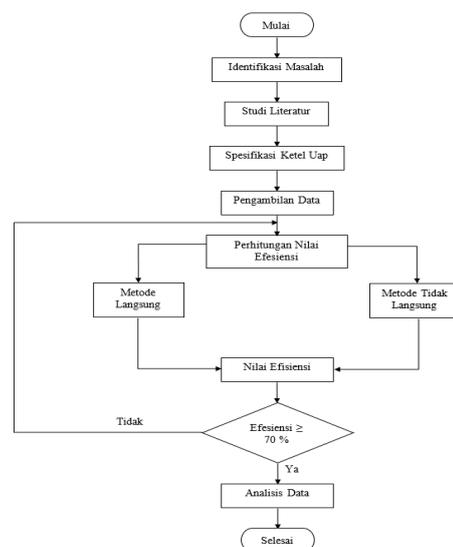
Pada penelitian ini *Boiler* yang terletak dapat dikategorikan tipe *Fire-tube boiler* dengan kapasitas 2TON/JAM dan menggunakan bahan bakar berupa *Compressed Natural Gas* (CNG)

### 3.3 Perhitungan Nilai Efisiensi

Data-data yang diambil untuk mendukung penelitian ini berasal dari *logsheet* atau data rekaman perusahaan. Data yang diambil adalah temperature (*feedwater*, bahan bakar, dan *steam* yang keluar), tekanan (*feedwater*, bahan bakar, dan *steam* yang keluar), kapasitas *boiler*, kandungan bahan bakar. Setelah semua data yang diperlukan sudah didapatkan, diringkas kembali sehingga dapat diolah dan digunakan pada proses perhitungan efisiensi. yaitu metode langsung dan metode tidak langsung. Ketika sudah mendapatkan nilai efisiensi  $\geq 70\%$  selanjutnya mulai menganalisis semua data yang sudah dimiliki.

### 3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang akan dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

## 4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Perhitungan Efisiensi Boiler

Pada penelitian ini data yang akan dimasukkan ke dalam perhitungan akan disederhanakan menjadi data per 2 minggu. Sehingga dapat mencari entalpi dari data yang ada diatas, yaitu seperti pada Tabel 1 dan 2 berikut:

Table 1. Tabel Entalpi (kkal/kg)

Entalpi (kkal/kg)		
Jangka waktu ( per 2 Minggu)	Steam (hg)	Feed Water (hr)
1	668.25	65.31
2	668.31	65.29
3	667.45	64.87
4	667.15	65.06
5	666.16	64.46

Table 2. Tabel Entalpi (BTU/lb)

Entalpi (BTU/lb)		
Jangka waktu ( per 2 Minggu)	Steam (hg)	Feed Water (hr)
1	1202.80	117.57
2	1203.00	117.54
3	1201.40	116.78
4	1200.90	117.12
5	1199.10	116.04

### 4.2 Efisiensi Metode Langsung

Dari data yang didapatkan kita dapat mengetahui bahwa :

- Q = 2000 kg
- q = 124 kg
- GCV = 12000 kkal/kg

Dengan menggunakan data yang ada diatas, kita dapat mencari efisiensi metode langsung dengan persamaan :

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

$$= \frac{2000 \times (668.25 - 65.31)}{124 \times 12000} \times 100$$

$$= 81.04 \%$$

Dengan mengulangi perhitungan diatas sesuai dengan data yang ada pada Tabel 1, maka dapatkan hasil perhitungan sebagai Tabel berikut :

Table 3. Hasil Efisiensi Metode Langsung

Jangka waktu ( per 2 Minggu)	Efisiensi Metode Langsung
1	81.04
2	81.05
3	80.99
4	80.92
5	80.87

### 4.3 Efisiensi Metode Tidak Langsung

Reaksi yang terjadi pada proses pembakaran dengan bahan bakar yang didapatkan adalah :

- $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$
- $C_2H_6 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 6H_2O$
- $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$
- $C_4H_{10} + 6O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O$

Efisiensi boiler dapat dihitung dengan cara jumlah uap panas yang dihasilkan dikurangi dengan rugi rugi panas yang terjadi. Berikut Prosedur rinci untuk perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode tidak langsung :

#### • Tahap 1 : Menghitung Kebutuhan Udara Teoritis (TA)

$$TA =$$

$$\frac{[(11.43 \times C) + \{34.5 \times (H_2 - \frac{O_2}{8})\} + (4.32 \times S)]}{100}$$

$$TA =$$

$$\frac{[(11.43 \times 75.07) + \{34.5 \times (22.89 - \frac{0.65}{8})\} + (4.32 \times 0)]}{100}$$

$$TA = \frac{(858.05) + (786.9) + 0}{100}$$

$$TA = 16.44 \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

- Tahap 2 : Menghitung persen kelebihan udara yang dipasok (EA)

$$EA = \frac{O_2 \% \times 100}{21 - O_2 \%}$$

$$EA = \frac{6.18 \times 100}{21 - 6.18}$$

$$EA = 41.7\%$$

- Tahap 3 : Menghitung massa udara sebenarnya yang dipasok/kg bahan bakar (AAS)

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

$$AAS = \left\{ 1 + \frac{41.7\%}{100} \right\} \times 16.44$$

$$AAS = 0.427 \times 16.44$$

$$AAS = 7\% \text{ kg udara/kg bahan bakar}$$

- Tahap 4 : Memperkirakan seluruh kehilangan panas (THL)

#### 4.4 Perhitungan Heat loss

- Persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering, *heatloss due to dry fuel gas* ( $L_{dfg}$ )

$$L_{dfg} = \frac{m \times Cp(T_f - T_a)}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100$$

$$m = \text{massa CO}_2 + \text{massa S} + \text{massa O}_2 + \text{massa N}_2$$

$$m = \left( \frac{0.75 \times 44}{12} \right) + 0 + (0.0618 \times 32) + \left( \frac{7 \times 77}{100} \right)$$

$$m = 2.75 + 0 + 1.977 + 5.39$$

$$m = 10.117$$

$$Cp = \text{Panas jenis gas buang (0.23 kkal/kg)}$$

$$L_{dfg} = \frac{10.117 \times 0.23(185 - 33)}{12000} \times 100\%$$

$$L_{dfg} = 2.94\%$$

- Persentase kehilangan panas karena penguapan air yang terbentuk karena adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar, *heat loss due to evaporation of water formed due to H<sub>2</sub> in fuel* (LH<sub>2</sub>)

$$LH_2 = \frac{9 \times H_2 \{584 + Cp(T_f - T_a)\}}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100\%$$

$$Cp = \text{Panas jenis uap lewat jenuh (0,45 kkal/kg)}$$

$$LH_2 = \frac{9 \times 22.89 \{584 + 0.45(185 - 33)\}}{12000} \times 100\%$$

$$LH_2 = 11.2\%$$

- Persentase kehilangan panas karena penguapan kadar air dalam bahan

- bakar, *heat loss due to evaporation of moisture present in fuel* (Lmf)

$$Lmf = \frac{W_a \times (hg - hr)}{GCV \text{ Bahan Bakar}}$$

$$hg = \text{nilai terdapat pada tabel 4.5}$$

$$hr = \text{nilai terdapat pada tabel 4.5}$$

$$Lmf = \frac{2.75 \times (668.25 - 65.31)}{12000}$$

$$Lmf = 0.138173 \text{ kkal/kg}$$

Dengan menggunakan rumus yang sama namun dengan data dari Tabel 4 nilai Lmf yang didapat adalah

**Table 4. Tabel Lmf**

Jangka waktu (per 2 Minggu)	kkal/kg
1	0.138173
2	0.138192
3	0.138091
4	0.137978
5	0.137889

- Persentase kehilangan panas karena kadar air dalam udara, *heat loss due to moisture present in air* (Lma)

$$Lma = \frac{AAS \times \text{Faktor Kelembaban} \times Cp(T_f - T_a)}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100$$

$$Cp = \text{Panas jenis steam lewat jenuh (0.45 Kkal/Kg)}$$

$$Lma = \frac{7 \times 0.018 \times 0.45(185 - 33)}{12000} \times 100$$

$$Lma = 0.071\%$$

#### 4.4.1.1 Hasil Perhitungan Heat Loss

Setelah mengetahui nilai heat loss yang dicari, kita dapat mencari nilai efisiensi dengan metode tidak langsung dengan persamaan :

$$\eta = 100 - \text{jumlah heatloss}$$

$$\eta = 100 - (L_{dfg} + LH_2 + Lmf + Lma)$$

$$\eta = 100 - (2.94 + 11.2 + 0.138173 + 0.071)$$

$$\eta = 85.650827$$

Dengan hal nilai L<sub>mf</sub> yang berbeda, bergantung pada nilai temperatur dan tekanan *steam* dan *feed water*. Sehingga nilai efisiensi sesuai dengan jangka waktu yang ditentukan adalah

**Table 4. Hasil Efisiensi Metode Tidak Langsung**

Jangka waktu ( per 2 Minggu)	Efisiensi Tidak Langsung
1	85.650827
2	85.650808
3	85.650909
4	85.651022
5	85.651111

#### 4.4 Hasil dan Pembahasan

- Hasil Efisiensi Metode Langsung  
Dengan hasil yang didapat pada perhitungan sebelumnya, kita dapat membuat grafik dengan hasil hasil yang ada. Berikut grafiknya:



Berdasarkan grafik diatas, kita bisa melihat ada penurunan nilai efisiensi yang tidak terlalu signifikan, sampai 2 minggu yang ke 5.

- Hasil Efisiensi Metode Tidak Langsung



Bedasarkan grafik diatas, kita bisa melihat ada kenaikan nilai efisiensi yang tidak terlalu signifikan, sampai 2 minggu yang ke 5. Hal tersebut terjadi karena perumusan pada efisiensi metode tidak langsung, pada metode ini temperatur dan tekanan menjadi peran penting, dikarenakan semakin tinggi sebuah tekanan dan suhu pada *steam* dan *feed water*-nya akan semakin besar *heat loss*

yang terjadi karena kandungan *moisture* pada bahan bakar *boiler*.

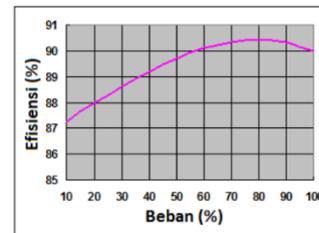
Untuk penelitian ini membahas tentang efisiensi energi pada *boiler* dengan metode langsung dan metode tidak langsung, kita bisa melihat perbandingan perhitungan dengan menggunakan metode langsung dan menggunakan metode tidak langsung sehingga mendapatkan grafik seperti yang sudah tertera diatas.

#### 4.5 Perbandingan Hasil Efisiensi Standar Umum dan Perhitungan

Pada penelitian ini akan membandingkan hasil efisiensi pada *boiler* sesuai dengan standar umum dan hasil dari perhitungan

##### 4.5.1 Hasil Efisiensi Standar Umum

Untuk perhitungan kondisi umum efisiensi *boiler* terdapat sebagai berikut :



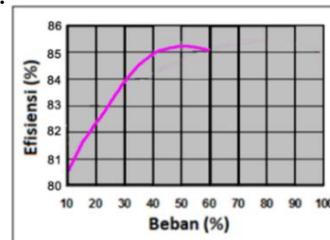
**Gambar 4.**Kondisi Umum Efisiensi Boiler

**Sumber:** TUV Nord Indonesia

Seperti yang terlihat pada gambar, untuk nilai efisiensi *boiler* bervariasi mengikuti beban seperti yang terlihat pada Gambar 4.1 dan untuk secara umum efisiensi didapat sebesar 90% dan nilai tertinggi dari efisien terdapat pada beban 80%.

##### 4.5.2 Hasil Perhitungan Efisiensi

Untuk perhitungan efisiensi *boiler* penulis mendapatkan hasil sebagai berikut :



**Gambar 5.** Hasil Perhitungan Efisiensi Boiler

Seperti yang terlihat pada diagram diatas, untuk nilai efisiensi *boiler* bervariasi

mengikuti beban. Untuk hasil penelitian beban yang didapatkan sebesar 60% dan untuk efisiensi didapat sebesar 85% serta nilai tertinggi dari efisien terdapat pada beban sebesar 50%.

Perbandingan antara efisiensi standar umum dan penelitian yang dilakukan, memiliki hasil yang berbeda, dimana hasil penelitian < standar umum. Karena hasil hitungan dari setiap *boiler* akan memiliki hasil efisiensi dan memiliki beban yang berbeda.

## 5. KESIMPULAN

1. 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 81.04%, sedangkan hasil perhitungan dengan metode (*Indirect*) 85.65%.
2. Hasil Faktor persentase nilai kerugian kehilangan panas terbesar pada *boiler tipe fire tube* PT. X diakibatkan karena kehilangan panas pada gas buang kering dengan nilai sebesar 2,94 %. Sedangkan, faktor lain yang menyebabkan turunnya efisiensi mesin *boiler fire tube* diakibatkan juga oleh persentase 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 11.2%.
3. Faktor lain yang menyebabkan turunnya efisiensi mesin *boiler fire tube* pada PT. X diakibatkan juga oleh persentase kehilangan panas yang disebabkan oleh kandungan penguapan air yang terbentuk oleh adanya hidrogen (H<sub>2</sub>) dalam bahan bakar serta rugi-rugi energi dan peningkatan efisiensi boiler dapat diperoleh dengan jalan mengontrol komposisi udara pembakaran dan bahan bakar, pemanfaatan gas buang untuk

memanaskan udara pembakaran dan pemasangan economizer.

## DAFTAR PUSTAKA

**Abdillah, Aji. Arif Budiman.** "Perhitungan Efisiensi (Efficiency) Mesin Boiler Jenis Fire-Tube Menggunakan Metode Direct dan Indirect Untuk Produk Butiran-Butiran Pelet." UG Jurnal. Vol.14

**De, Dewa.** "Fungsi Dan Cara Kerja Boiler Beserta Komponen Boiler." [WWW Document],n.d.URL:<https://teknisibali.com/fungsi-dan-cara-kerja-boiler-beserta-komponen-boiler/> (accessed 20.11.21)

**FireTubeBoiler - OnlineElectrical**[WWW Document],n.d.URL<https://oelectrical.com/fire-tube-boiler/> (accessed 10.12.21).

**Macam-macam Uap Air | | Artikel Teknologi Indonesia** [WWW Document], n.d.URL<https://artikel-teknologi.com/macam-macam-uap-air/> (accessed 19.02.22).

**Muzaki, Imam. Aqil Mursadin.** "Analisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input-Output Di PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk. UNIT BANJARMASIN." SJME KINEMATIKA. Vol.4

**Palaloi, Sudirman.** "Analisis Potensi Penghematan Energi Pada Boiler Di Pabrik Tekstil." Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) 2014

**Patro, B., 2016.** Efficiency studies of combination tube boilers. Alexandria Eng. J. 55, 193–202.

**Eonchemicals.** "Komponen Boiler dan Fungsinya | Prinsip Kerja Boiler II." *Eonchemical Solution*. 28 Agustus 2021.

**S. Krishnanunni, Josephkunju Paul, Mathu Potti, Ernest Markose Mathew. 2012.** Evaluation of Heat Losses in Fire Tube Boiler. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website:[www.ijetae.com](http://www.ijetae.com) (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 2, Issue 12, December 2012)

**Riyaz Papar, P.E., CEM dan Greg Harrell.Ph.D., P.E., 2013** "Industrial Steam System Optimization".