

PELUANG PENGHEMATAN ENERGI PADA BOILER DI PT INDO BHARAT RAYON

Kholiq Hernawan¹

Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

Email: kholiq.h@gmail.com

Abstrak

Boiler adalah suatu bejana tekan dimana air/fluida dipanaskan oleh gas hasil pembakaran. Uap yang dihasilkan digunakan untuk berbagai proses. Boiler juga merupakan pesawat konversi energi yang mengubah energi dari pembakaran menjadi energi yang terkandung dalam uap. Audit boiler bertujuan untuk mengidentifikasi adanya peluang penghematan energy, yang bisa diketahui dari parameter efisiensi. Perhitungan terhadap efisiensi boiler biasanya menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung. Perhitungan efisiensi menggunakan metode ASME PTC 4.1. Metode langsung merupakan perhitungan efisiensi boiler secara cepat, hanya membandingkan energy output dengan energy input, sedangkan metode tidak langsung merupakan perhitungan efisiensi boiler dengan memperhitungkan rugi rugi atau energy panas yang hilang. Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan didapatkan efisiensi dengan metode langsung sebesar 80,35 %, sedangkan berdasarkan metode tidak langsung didapatkan efisiensi sebesar 79,68 %. Jika nilai efisiensi tersebut dibandingkan dengan spesifikasi efisiensi boiler sebesar 86,3 % maka performansi /efisiensi boiler tersebut sudah mengalami penurunan. Untuk meningkatkan efisiensi boiler tersebut dengan memperbaiki system pembakaran agar mencapai pembakaran sempurna. Untuk mendapatkan pembakaran sempurna dengan memasang Combustion Optimizer. Setelah dilakukan analisa kelayakan, pemasangan Combustion Optimizer layak dilakukan karena memberikan nilai NPV yang positif dan Break Even Point yang singkat (sebesar 1,6 bulan) dan memberikan penghematan pertahun sebesar Rp 1.155.017.988,0. Investasi yang diperlukan untuk pemasangan Combustion Optimizer sebesar Rp 150 Juta.

Kata Kunci: Efisiensi Boiler, Audit Energi, Konservasi Energi, Kelayakan Ekonomi, Combustion Optimizer

I. PENDAHULUAN

Dari segi ekonomi, penggunaan energi merupakan variabel yang cukup besar dalam perhitungan biaya produksi. Penggunaan energi yang tidak efisien menyebabkan biaya tinggi sehingga berpengaruh dalam biaya produksi dan daya saing.

Permasalahan energi menjadi isu yang terus berkembang bagi setiap negara termasuk Indonesia. Hal ini terkait dengan laju peningkatan kebutuhan energi bagi sektor industri, transportasi, bangunan dan rumah tangga (demand side) dan keterbatasan sumber cadangan energi yang sampai saat ini masih tergantung pada energi berbasis fosil (BBM, Gas dan Batubara).

Lebih ironisnya lagi, Indonesia menjadi salah satu negara dengan tingkat elastisitas energi cukup tinggi yang mencapai 1,63 lebih tinggi dibandingkan Thailand dan Singapura yang masing-masing mencapai 1,4 dan 1,1. Bahkan indeks elastisitas energi negara-negara maju berkisar antara 0,1 hingga 0,6 (tingkat elastisitas adalah perbandingan laju pertumbuhan konsumsi energi dibanding laju pertumbuhan ekonomi). [1]

Dari sisi peningkatan kinerja penggunaan energi pada sektor industri, pemerintah telah menetapkan kebijakan konservasi energi sebagaimana tertuang dalam Peraturan Pemerintah No 70 tahun 2009. Dalam kebijakan tersebut, diwajibkan industri pengguna energi dalam jumlah besar (> 6000 toe) untuk menerapkan manajemen energi. [1]

Salah satu industri yang mengkonsumsi energi yang cukup besar adalah Industry Tekstil, sehingga pada penelitian ini dilakukan audit energi untuk menemukan peluang penghematan energi pada pabrik tekstil PT. Indo Bharat Rayon terutama pada peralatan boilernya, karena peralatan ini mengkonsumsi energy yang terbesar.

PT. Indo Bharat Rayon adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang industri tekstil dan memiliki sistem PLTU dengan

kapasitas pembangkit 15 MW. PLTU dari PT. Indo Bharat Rayon memiliki 3 unit boiler sebagai salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit yang berfungsi mengubah air menjadi uap superheat bertemperatur dan bertekanan tinggi sebagai fluida kerja dalam mekanisme penggerak turbin dengan mengandalkan energi kinetik yang dihasilkan dari uap superheat.

Boiler merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pembangkit karena akan mempengaruhi kinerja dari sistem pembangkit itu sendiri dan pengonsumsi energy terbesar. Pengkajian kinerja boiler perlu dilakukan untuk melihat efisien atau tidaknya boiler beroperasi. Konservasi energi pada boiler dirasa perlu dilakukan untuk menunjang penghematan energi.

Audit energy pada boiler diperlukan untuk mengetahui potensi penghematan, sedangkan untuk mengetahui performa/unjuk kerja boiler maka diperlukan pengukuran efisiensi boiler. Efisiensi boiler dapat dihitung dengan metode langsung dan tidak langsung yang mengacu pada standar ASME PTC 4.1.

Hasil perhitungan efisiensi akan dibandingkan dengan standar atau spesifikasi boiler. Konservasi akan dilakukan jika perhitungan efisiensi boiler operasi jauh di bawah standart atau spesifikasi boiler. Sehingga, melakukan konservasi energy akan didapatkan saving/penghematan energy. Studi kasus pada kegiatan ini dilakukan dalam bentuk audit boiler unit 3 pada PT. Indo Bharat Rayon yang kemudian dilakukan perhitungan dan analisis konservasi energi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Efisiensi Boiler

Terdapat dua metode pengkajian efisiensi boiler:

1. Metode Langsung
2. Metode Tidak Langsung

Standar acuan untuk menghitung efisiensi boiler menggunakan USA Standart (ASME PTC 4.1 Power Test Code Steam Generating Units).

❖ Metode Langsung (Metode Direct) [2]

Metode ini merupakan pendekatan yang dilakukan dengan mengukur jumlah panas yang terdapat pada uap dan membandingkannya dengan jumlah panas yang diberikan bahan bakar. Metode ini dikenal dengan metode 'input-output'.

$$\eta_{boiler} = \frac{\dot{m}_{steam}(h_{steam}-h_{feedwater})}{\dot{m}_{fuel} \times GCV_{fuel}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

- η_{boiler} = efisiensi boiler (%)
- \dot{m}_{steam} = laju alir uap (kg/jam)
- h_{steam} = entalpi uap (h_g) (kJ/kg)
- $h_{feedwater}$ = entalpi air umpan (h_f) (kJ/kg)
- \dot{m}_{fuel} = laju alir bahan bakar (kg/jam)
- GCV_{fuel} = nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

❖ Metode Tidak Langsung (Metode Indirect) [2]

Merupakan pendekatan yang dilakukan untuk mendapatkan nilai efisiensi dengan mengukur jumlah potensial panas bahan bakar dan menguranginya dengan losses yang terdapat pada boiler.

Metode perhitungan efisiensi secara tidak langsung atau metode kehilangan panas dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$\eta_{boiler} = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8) \quad (2.2)$$

Keterangan:

- η_{boiler} = efisiensi boiler (%)
- L1 = Rugi-rugi gas buang kering (panas sensible)
- L2 = Rugi-rugi steam dalam bahan bakar (H_2)
- L3 = Rugi-rugi kandungan air bahan bakar (H_2O)
- L4 = Rugi-rugi kandungan air di udara pembakaran (H_2O)
- L5 = Rugi-rugi pembakaran tidak sempurna (CO)
- L6 = Rugi-rugi radiasi permukaan, konveksi,
- L7 = Rugi-rugi karena *fly ash*
- L8 = Rugi-rugi karena *bottom ash*

Tahapan dalam perhitungan efisiensi boiler dengan metode tidak langsung dapat di gambarkan dalam tahapan berikut:

Tahap – 1 . Kebutuhan udara teoritis [2]

$$\text{Udara teoritis untuk pembakaran sempurna adalah} \\ \left(11,6 \times C \right) + \left(34,8 \times \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) \right) + (4,35 \times S) \quad (2.3)$$

Tahap – 2 . Teoritis CO_2 % pembakaran sempurna

$$\% CO \text{ pada} = \frac{\text{moles of } C}{\text{moles } N_2 + \text{moles of } C} \quad (2.4)$$

dimana :

$$\text{Moles } N_2 = \frac{\text{Wt of } N_2 \text{ in theoretical air}}{\text{mol.Wt of } N_2} + \frac{\text{Wt of } N_2 \text{ in fuel}}{\text{mol.Wt of } N_2} \quad (2.5)$$

Tahap – 3 . Persen kelebihan udara yang dipasok (EA) [2]

$$\% \text{ suplai udara berlebih adalah} \\ \frac{7900 \times [(CO_2\%)_t - (CO_2\%)_a]}{(CO_2\%)_a \times [(100 - (CO_2\%)_t)]} \quad (2.6)$$

Tahap-4. Massa udara sebenarnya yang dipasok (AAS) [2]

$$\text{Massa sebenarnya} = \left(1 + \frac{EA}{100} \right) \times \text{udara teoritis} \quad (2.7)$$

Tahap – 5 . Massa aktual gas buang kering [2]

$$\text{Massa gas buang kering} = \text{massa of } CO_2 + \text{massa of } N_2 \text{ content} \\ \text{in the fuel} + \text{Massa of } N_2 \text{ in the combustion air supplied} + \text{massa of} \\ \text{oxygen in flue gas} \quad (2.8)$$

Tahap – 6 . losses yang terjadi pada boiler [2]

Heat loss karena gas buang kering (L1)

Ini merupakan kehilangan terbesar yang dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$L1 = \frac{\dot{m} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ batu bara}} \times 100 \quad (2.9)$$

Keterangan :

- \dot{m} = massa *dry flue gas* (kg/kg batubara)
- C_p = panas spesifik *flue gas* = 0,23 kCal/kg⁰C
- T_f = temperatur *flue gas* (⁰C)
- T_a = temperatur ambient (⁰C)
- GCV= nilai kalor atas bahan bakar (kkal/kg)
- Heat loss* karena steam dalam gas buang (L2) [2]

Pembakaran hidrogen menyebabkan hilangnya panas karena produk dari pembakaran adalah air. Air ini akan diubah menjadi uap dan akan membawa panas pergi dalam bentuk panas laten

$$L2 = \frac{9 \times H_2 \times \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \}}{GCV \text{ batu bara}} \times 100 \quad (2.10)$$

Keterangan :

- H_2 = persen massa hidrogen dalam 1 kg bahan bakar (kg)
- C_p = panas spesifik *superheater* = 0,45 kCal/kg⁰C
- T_f = temperatur *flue gas* (⁰C)
- T_a = temperatur ambient (⁰C)
- GCV = nilai kalor atas bahan bakar (kCal/kg)
- Heat loss* karena kandungan air bahan bakar (H_2O) (L3) [2]

Hilangnya kelembapan ini karena panas sensibel yang membawa uap air pada titik pemanasan, panas laten dari penguapan air yang mendidih, dan panas *superheat* yang diperlukan dalam membawa uap ini dengan temperatur dari gas buang. Kerugian ini dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$L3 = \frac{M \times \{ 584 + C_p (T_f - T_a) \}}{GCV \text{ batu bara}} \times 100 \quad (2.11)$$

Keterangan :

- M= massa embun dalam bahan bakar 1 kg basis (kg)
- C_p = panas spesifik *superheater* = 0,45 kCal/kg⁰C
- T_f = temperatur *flue gas* (⁰C)
- T_a = temperatur ambient (⁰C)
- GCV = nilai kalor atas bahan bakar (kkal/kg)
- Heat loss* karena kandungan air di udara H_2O (L4)

Uap yang terbentuk karena kelembapan udara yang masuk merupakan *superheat* saat melewati boiler. Karena panas ini melewati cerobong, maka ini merupakan suatu *losses* pada boiler. Untuk menghubungkan kerugian ini dengan massa batubara yang dibakar, kandungan kelembapan udara pembakaran dan jumlah udara yang dipasok per satuan massa batubara yang dibakar harus diketahui.

$$L4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ batu bara}} \times 100 \quad (2.12)$$

Keterangan :

- AAS= massa udara aktual yang disuplai (kg)
- C_p = panas spesifik *superheater* (kkal/kg⁰C)
- T_f = temperatur *flue gas* (⁰C)
- T_a = temperatur ambient (*dry-bulb*) (⁰C)
- GCV= nilai kalor atas bahan bakar (kkal/kg)

Humidity faktor = massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering (kg)

Heat loss karena pembakaran tidak sempurna (L5) [2]

Rugi-rugi ini disebabkan oleh bahan yang tidak terbakar dalam residu. Hasil pembentukan dari pembakaran tidak sempurna bisa dicampur dengan oksigen dan dibakar kembali dengan keluaran lebih lanjut dari energi seperti gas buang boiler. produk boiler termasuk CO , H_2 , dan berbagai hidrokarbon merupakan satu-satunya gas hasil konsentrasi yang dapat ditentukan dalam suatu tes pabrik boiler.

$$L5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO + \%CO_2} \times \frac{5744}{GCV \text{ batubara}} \times 100 \quad (2.13)$$

Ketika CO dalam ppm selama analisis gas buang
 $L5 = CO \text{ (in ppm)} \times 10^{-6} \times M_f \times 28 \times 5744$ (2.14)

Keterangan :

CO = volume CO di *flue gas* yang meninggalkan ekonomizer

CO₂ = volume CO₂ aktual di *flue gas*

C = kandungan karbon dalam kg batubara (kg)

GCV = nilai kalor atas bahan bakar (kCal/kg)

M_f = konsumsi bahan bakar (kg/h)

Heat loss karena radiasi permukaan, konveksi, dan yang tak terhitung (L6)[2]

Jika area permukaan boiler dan suhu permukaan boiler diketahui, maka kita dapat menggunakan seperti berikut.

$$L6 = 0,548 \times \left[\left(\frac{T_s}{55,55} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{55,55} \right)^4 \right] + 1,957 \times (T_s - T_a)^{1,25} \times \text{sqrt of } \left[\frac{196,85 V_m + 68,9}{68,9} \right]$$
 (2.15)

Heat loss karena *fly ash* dan *bottom ash* [2]

Rugi-rugi karena abu terbang (*fly ash*) (%)

L7 =

$$\frac{\text{total abu per kg bahan bakar terbakar} \times \text{GCV of fly ash}}{\text{GCV batu bara}} \times 100$$
 (2.16)

Rugi-rugi karena abu dasar (*bottom ash*) %

total abu per kg bahan bakar terbakar \times

$$L8 = \frac{\text{GCV of bottom ash}}{\text{GCV batu bara}} \times 100$$
 (2.17)

II.2 Analisa Kelayakan Ekonomi [4]

Metode –metode kelayakan ekonomi, antara lain

❖ Net Present Value (NPV)

Metode NPV diperoleh dengan mengurangi nilai peluang penghematan energi dengan nilai investasi. Dengan metode ini kelayakan suatu rencana investasi atau pemilihan alternatif di masa depan harus dinyatakan ke dalam nilai sekarang yang ekuivalen dengan suatu tingkat suku bunga yang dijadikan dasar perbandingan. NPV bernilai positif merupakan syarat dilakukannya proyek.

$$NPV = PV \text{ benefit} - PV \text{ cost}$$
 (2.18)

$$NPV = \text{saving} (P/A, i, n) - \text{investasi}$$
 (2.19)

Dimana :

i = suku bunga

n = umur proyek

(P/A, i, n) didapat dari tabel suku bunga.

❖ Simple Payback Period (SPB)

Metode ini disebut juga sebagai break event point (BEP) yang dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan investasi awal dalam ukuran penghematan energi. Dapat dihitung dengan cara membagi nilai investasi dengan nilai peluang penghematannya atau saving energy.

$$\text{Break Event Point} = \frac{\text{investasi}}{\text{saving energy}}$$
 (2.20)

II.3 Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada flowchart berikut.



Gambar 1 Tahapan Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

III.1 Data Survey

❖ Data Metode Langsung

Pengukuran parameter untuk perhitungan efisiensi boiler unit 3 di PT. Indo Bharat Rayon dengan metode langsung dilakukan pada 1 Oktober 2019 hasil pengukuran dapat ditunjukkan pada tabel III-1.

TABEL III.1 PARAMETER EFISIENSI BOILER (METODE LANGSUNG)

No	Parameter			Hasil pengukuran
	Deskripsi	Satuan	simbol	
1	Load/Beban	%	-	
2	jumlah uap yang dihasilkan	Ton/jam	msteam	72,886
3	Temperature Steam	C	Tsteam	486,975
4	Tekanan Steam	Bar	Psteam	62,566
5	Temperature Feed water	C	Tfeedwater	203,173
6	jumlah bahan bakar yang digunakan	Ton/jam	mfuel	7,35
7	Entalphy Steam	kJ/kg	Hg	3.385,99
8	Entalphy feedwater	kJ/kg	Hf	1.929,085
9	Nilai kalor bahan bakar	kCal/kg	GCVfuel	4.300
10	Nilai kalor bahan bakar	kJ/kg	GCVfuel	18003,24

❖ Data Metode Tidak Langsung

Pengukuran parameter untuk perhitungan efisiensi boiler unit 3 di PT. Indo Bharat Rayon dengan metode tidak langsung dilakukan pada 1 Oktober 2019 hasil pengukuran dapat ditunjukkan pada tabel III-2.

TABEL III.2 PARAMETER EFISIENSI BOILER (METODE TIDAK LANGSUNG)

No	Parameter	Nilai	satuan
1	fuel firing rate	33,367	Ton/jam
2	steam generation rate	72,886	Ton/jam
3	Psteam	62,566	kg/cm ³ (g)
4	Tsteam	486,9752	c
5	Tfeedwater	203,095	c
6	%CO ₂	13	%
7	%CO	0	%
8	%O ₂	9,6	%
8	rata2 Tflue gas	148,5	C
9	Tambient	32	C
10	humidity in ambient air	0,023	kg/kg dry air
11	surface temperature of boiler	54,7	C
12	wind velocity around the boiler	3	m/s
13	total surface area of boiler	2.666	m ²
14	gcv bottom ash	0,5	kCal/kg
15	gcv fly ash	12,2	kCal/kg
16	ratio of bottom ash fuel analysis in %	70 : 30	
17	ash content in fuel	5,7	%
18	moisture in coal	23,5	%
19	carbon content	58,73	%
20	hydrogen content	3,73	%
21	Nitrogen	1	%
22	Sulfur	0,3	%
23	Oxygen	7	%
24	Gcv of coal	4300	kCal/kg

III.2 Pengolahan Data

Berdasarkan data pengukuran metode langsung dan data pengukuran metode tidak langsung dan rumus – rumus pada bab 2, maka dapat dihitung parameter-parameter boiler, besarnya parameter- parameter dapat dirangkum pada tabel III.3 berikut.

TABEL III.3 RANGKUMAN HASIL PERHITUNGAN PARAMETER-PARAMETER PADA BOILER

NO	PARAMETER	Hasil Pengukuran Dan Perhitungan (%)	Spesifikasi Efisiensi (%)	Keterangan
1	Efisiensi Boiler Dengan Metode Langsung	80,35	86,3%	Efisiensi Boiler sudah dibawah spesifikasinya
2	Efisiensi Boiler Dengan Metode Tidak Langsung	79,683		
3	Heat loss karena gas buang kering (L1)	9,469		
4	Heat loss karena hidrogen dalam bahan bakar (L2)	4,969		
5	Heat loss karena kandungan air di bahan bakar (H2O) (L3)	3,463		
6	Heat loss karena kandungan air di udara H2O (L4)	0,398		
7	Heat loss karena pembakaran tidak sempurna (L5)	0		
8	Heat loss karena radiasi permukaan, konveksi, dan yang tak terhitung (L6)	1,875		
9	Rugi-rugi dalam fly ash (L7)	0,0048		
10	Heat loss karena abu dasar (bottom ash) (L8)	0,00046		

III.3 Peluang Penghematan Energi dan Analisis Kelayakan

Berdasarkan Tabel III.3, dapat dilihat bahwa efisiensi boiler dengan metode langsung sebesar 80,35 % , sedangkan dengan metode tidak langsung sebesar 79,68 % nilai tersebut dibawah spesifikasinya yaitu 86,3% , artinya performa/efisiensi boiler sudah mengalami penurunan. Untuk memperbaiki performa boiler dapat dilakukan dengan mengetahui besarnya rugi – rugi boiler. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa rugi – rugi terbesar terjadi pada rugi – rugi karena gas buang kering L1 sebesar 9,469 % . Rugi – rugi ini disebabkan karena pembakaran tidak sempurna, sehingga untuk meningkatkan efisiensi boiler dengan memperbaiki pembakarannya menjadi pembakaran sempurna. Berdasarkan perhitungan nilai excess air daripada boiler sebesar 84,21%, dan kandungan O2 sebesar 9,6 % , sedangkan untuk boiler berbahan batubara agar terjadi pembakaran sempurna maka standart excess air yang diizinkan sebesar 15 - 20 % atau kandungan O2 sebesar 3-3,5 % . Hal ni menunjukkan bahwa

adanya kelebihan udara yang terlalu banyak dan menyebabkan bahan bakar boros, ini berarti bahwa efisiensi pembakaran tidak efisien dan mengakibatkan panas yang seharusnya terkumpul pada ruang pembakaran terbuang ke bagian stack. Hal ini memperlihatkan bahwa jumlah bahan bakar batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan panas yang sama lebih besar dibandingkan dengan kondisi antara oksigen dan CO2 yang efisien.

Untuk mendapatkan pembakar sempurna pada Boiler dengan memasang kontrol Otomatis pada system pembakaran pada boiler, yaitu dengan memasang sensor pada gas buang boiler dan memasang inverter/VSD pada masukkan motor listrik penggerak fan/blower yang mensuplai udara masuk pada ruang bakar. Jika terjadi kelebihan udara atau Oksigen maka sensor akan memberikan informasi kepada kontroler / inverter untuk memperlambat putaran motor/ blower sehingga udara yang masuk ke ruang bakar mengecil. Jika masukan udara / oksigen sudah sesuai dengan spesifikasi pembakaran sempurna maka putaran motor konstan, dan sebaliknya jika pada pembakaran terjadi kekurangan udara maka sensor akan memberikan informasi pada kontroler/inverter untuk menggerakkan motor lebih cepat dan jika udara pembakaran sudah mencapai pembakaran sempurna maka kecepatan motor menjadi konstan.

Untuk memasang alat tersebut maka perlu dilakukan analisa kelayakannya, untuk menghitung kelayakan perlu diketahui saving energy yang didapatkan dan besarnya investasinya. Perhitungan kelayakan dapat dijabarkan sebagai berikut.

Perhitungan sebelum dilakukan konservasi atau pemasangan flue gas analyzer/combustion optimizer :

1. Kelebihan udara yang disuplai (Excess =Air)

$$\begin{aligned} \text{\% suplai udara berlebih} &= \frac{\%O_2}{(21-\%O_2)} \times 100\% \\ &= \frac{9,6}{(21-9,6)} \times 100\% = \mathbf{84,21\%} \end{aligned}$$

2. Massa aktual udara yang disuplai/kg bahan bakar (AAS)

$$\begin{aligned} \text{AAS} &= (1 + \text{EA}/100) \times \text{udara teoritis} \\ &= (1 + 84,21/100) \times 7,819 \\ &= \mathbf{14,196 \text{ kg/kg batubara}} \end{aligned}$$

3. Heat loss karena gas buang kering (L1)

$$\begin{aligned} L1 &= \frac{m \times Cp \times (T_f - T_a)}{\text{GCV batu bara}} \times 100 \\ &= \frac{(14,196 + 1 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} \text{ of fuel}) \times 0,23 \times (148,5 - 32)}{4300} \times 100 \\ &= \mathbf{9,469 \%} \end{aligned}$$

Cp = Kalor jenis gas buang (0,23 kCal/kg)

4. Efisiensi Boiler Sebelum Konservasi

$$\begin{aligned} (\eta) &= 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8) \\ &= 100 - (9,469 + 4,969 + 3,463 + 0,398 + 0 + 1,875 + 0,00480 + 0,00046) = \mathbf{79,683} \end{aligned}$$

Perhitungan setelah dilakukan konservasi atau pemasangan flue gas analyzer/combustion optimizer

1. Kelebihan udara yang disuplai (Excess Air)

$$\begin{aligned} \text{\% suplai udara berlebih} &= \frac{\%O_2}{(21-\%O_2)} \times 100\% \\ &= \frac{3}{(21-3)} \times 100\% = \mathbf{16,7\%} \end{aligned}$$

2. Massa aktual udara yang disuplai/ kg bahan bakar (AAS)

$$\begin{aligned} \text{AAS} &= (1 + \text{EA}/100) \times \text{udara teoritis} \\ &= (1 + 16,7/100) \times 7,819 \\ &= \mathbf{8,99 \text{ kg/kg batubara}} \end{aligned}$$

3. Heat loss karena gas buang kering (L1)

$$L1 = \frac{m \times Cp \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ batu bara}} \times 100$$

$$= \frac{(AAS + \text{massa bahan bakar dipasok}) \times Cp \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ batu bara}} \times 100$$

$$= \frac{(14,196 + 1 \frac{kg}{kg} \text{ of fuel}) \times 0,23 \times (148,5 - 32)}{4300} \times 100 = 6,23 \%$$

Cp = Kalor jenis gas buang (0,23 kCal/kg)

4. Efisiensi Boiler Setelah Konservasi

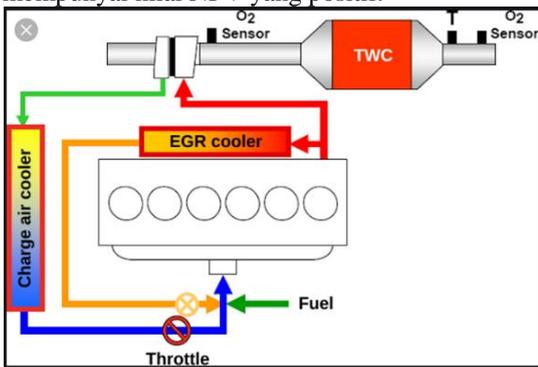
$$\text{Efisiensi Boiler } (\eta) = 100 - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8)$$

$$= 100 - (6,23 + 4,969 + 3,463 + 0,398 + 0 + 1,875 + 0,00480 + 0,00046) = 83,06 \%$$

TABEL IV.4 ANALISA KELAYAKAN EKONOMI PEMASANGAN COMBUSTION OPTIMIZER

No	Keterangan	Satuan	Nilai
1	Konsumsi Batubara Sebelum Konservasi	kg/jam	7350
2	Efisiensi Sebelum Konversi	%	79,683
3	Efisiensi Setelah Konversi	%	83,06
4	Perbaikan Efisiensi	%	3,377
5	Penghematan Batu Bara	kg/jam	248,2
6	Konsumsi Batubara Setelah Konservasi	kg/jam	7.101,8
7	Operasi Boiler Per Tahun	Jam	8.760
8	Penghematan Batu Bara/tahun	kg/Tahun	2.174.315,2
9	Harga Batu Bara Per kg	Rp/kg	531,2
10	Penghematan Batu Bara/tahun	Rp/Tahun	1.155.017.988,0
11	Investasi Alat	Rp	150.000.000
12	Break Even Point	Bulan	1,6
13	NPV (n=10 tahun, i=0% = biaya sendiri)	Rp	11.400.179.880,2
14	Kelayakan		Layak

Berdasarkan analisa kelayakan pada tabel IV.4 diatas pemasangan Combustion Optimizer pada boiler layak dilakukan karena mempunyai nilai NPV yang positif.



Gambar 2 Ilustrasi pemasangan sensor flue gas analyzer/Combustion Optimizer

Pengurangan losses pada flue gas membutuhkan investasi berupa 1 set combustion optimizer yang terdiri dari, sensor oxygen detector, controller, dan variable speed drive yang nantinya terhubung dengan fan untuk air intake ke ruang pembakaran.

IV. KESIMPULAN

Efisiensi boiler dengan menggunakan metode langsung sebesar 80,35 %. Dan efisiensi boiler dengan menggunakan metode tidak langsung sebesar 79,683 %.

Spesifikasi efisiensi boiler sebesar 86,3%, sehingga performa/efisiensi boiler sudah turun. Untuk menaikkan performa/efisiensi boiler dengan memasang Combustion Optimizer.

Pemasangan Combustion Optimizer layak dilakukan, karena nilai NPV sebesar Rp 11.400.179.880,2 dengan Break Even Point 1,6 bulan, dan Saving Energi sebesar Rp 1.155.017.988,0/ tahun. Dan dengan Investasi yang yang dibutuhkan untuk Combustion Optimizer sebesar Rp 150 Juta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM. 2012.Peraturan Menteri ESDM RI No 14 Tahun 2012.
- [2] Turner,W&Steve Doty.2006.Energy Management Handbook. Sixth Edition.John Wiley & Sons,Ltd.
- [3] Pedoman Efisiensi Energi Asia.2015. Boiler dan Pemanas Fluida Termis.www.energyefficiencyasia.com. (akses 23 Mei 2019)
- [4] Ginting,R.2006.Ekonomi Teknik . Medan .Universitas Sumatera.
- [5] Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi .Balai Besar Teknologi Energi.Prosedur Standar Dan Teknik Audit Energi Di Industri.ISBN 978-602-1124-88-8. Jakarta. 2015.
- [6] Departemen Pertambangan Dan Energi. Prosedur Audit Energi Pada Bangunan Gedung. Jakarta.
- [7] TUV NORD.Upgrading And Leveraging Indonesia To Fortify Energy Efficiency Through Academic And Technical Trainings For Energy Management Professionals.Jakarta.2013.
- [8] UNIDO. Expert Training On Steam System Optimization.Jakarta.2015
- [9] HAKE. Materi Pembekalan Uji Kompetensi/Sertifikasi Auditor Energi Industri. Jakarta. 2013.
- [10] CIPEC. Energy Efficiency Planning And Management Guide. ISBN 0-662-31457-3.Her Majesty The Queen In Right Of Canada.2002.