

Pengaruh Variasi Udara Pembakaran Terhadap Efisiensi Boiler dengan Menggunakan Perhitungan Metode Langsung dan Tidak Langsung

Restu Dwi Ari Zulfikar^{1,*}, Budi Suharto¹, Indriyani¹

¹Politeknik Negeri Bandung

Jalan Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Bandung, 40012, Kotak Pos 1234

E-mail: restudwi.tken21@polban.ac.id*

Abstract

Boiler type DG1025/17.4 – II 13 Dong Fang Boiler Group Co., Ltd. is a type of boiler is a type of boiler in PLTU Banten 3 Lontar. Boiler efficiency in the steam generation process is influenced by various factors, the most significant of which is how the combustion process occurs in the combustion process occurs in the furnace. Perfect combustin definitely requires a combination of the rught ratio of combustion air and fuel. Based on the result of this researh, it appears that if the actual amount of air flow required for the combustion process is 6.15 kg air/kg coal, then the theoritical air requirements is known to be 8.35 kg air/kg coal. This means that if the actual amount of air flow required for the process is close to the theoritical air flow value, it will indirectly increase the boiler combustion efficiency value. It is proven that when the combustion air variation is the smallest, namely 1050 T/h, it produces a boiler efficiency of 66.82% (direct), then at the largest combustion air variation, namely 1200T/h, it produces an efficiency of 72.40% (direct).

Keywords: Boiler, variation, combustion air, efficiency.

Abstrak

Boiler dengan jenis DG1025/17.4 – II 13 Dong Fang Boiler Group Co., Ltd merupakan jenis boiler yang tersedia di PLTU Banten 3 Lontar. Efisiensi boiler pada proses pembangkitan uap dipengaruhi oleh berbagai faktor, yang paling signifikan diantaranya adalah bagaimana proses pembakaran yang berlangsung di ruang bakar itu sendiri. Pembakaran yang sempurna, pasti memerlukan kombinasi rasio udara pembakaran dan bahan bakar yang tepat. Berdasarkan hasil penelitian, terlihat bahwa jika jumlah aliran udara aktual yang dibutuhkan untuk proses pembakaran didapat sebesar 6,15 kg air/kg coal, lalu untuk kebutuhan udara secara teoritis diketahui sebesar 8,35 kg air/kg coal. Artinya terlihat bahwa jika jumlah aliran udara aktual yang dibutuhkan untuk proses pembakaran mendekati nilai aliran udara teoritis maka secara tidak langsung akan meningkatkan nilai efisiensi pembakaran boiler. Terbukti bahwa pada saat kondisi variasi udara pembakaran terkecil yaitu sebesar 1050,20 T/h menghasilkan efisiensi boiler sebesar 65,82% (direct), lalu pada variasi udara pembakaran terbesar, yaitu 1202,79 T/h menghasilkan efisiensi sebesar 72,40% (direct).

Kata Kunci: Boiler, variasi, udara pembakaran, efisiensi.

1. Pendahuluan

Boiler tipe DG1025/17.4 = II 13 dari Dong Fang Boiler Group Co., Ltd., yang digunakan di PLTU X, memankan peran penting dalam proses pembangkitan energi listrik. Boiler ini memiliki kapasitas uap sebesar 1025 ton per jam dan tekanan operasi 17,4 bar[2]. Efisiensi boiler ini sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Kombinasi yang tepat antara rasio udara pembakaran dan bahan bakar sangat diperlukan untuk mencapai pembakaran yang sempurna.

Pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan emisi gas buang berbahaya seperti Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x), dan Sulfur Dioksida (SO₂) serta menurunkan efisiensi boiler[4]. Oleh karena itu, optimasi proses

pembakaran dengan mengatur pasokan udara yang tepat sangat penting untuk meningkatkan efisiensi thermal boiler saat beroperasi.

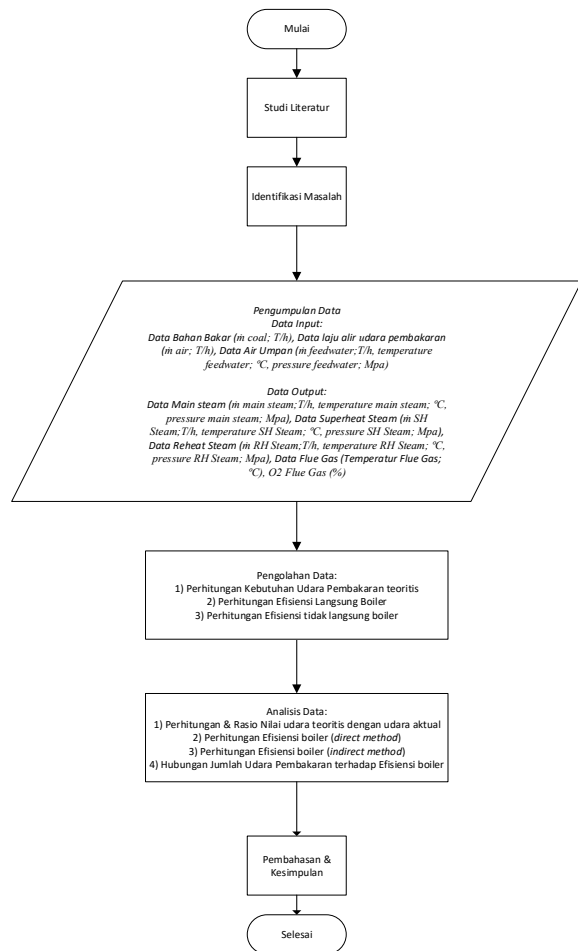
Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan udara pembakaran dan pengaruh variasi udara pembakaran terhadap efisiensi boiler di PLTU X. Dengan menggunakan metode perhitungan efisiensi langsung dan tidak langsung, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang pengoptimalan proses pembakaran untuk meningkatkan efisiensi operasional boiler.

2. Metodologi

Penelitian ini diawal dengan studi pustaka mencari referensi mengenai jenis boiler, prinsip kerja boiler, kebutuhan udara pembakaran boiler dan

perhitungan kinerja boiler berupa efisiensi. Melakukan identifikasi kebutuhan udara pembakaran secara teoritis, perhitungan efisiensi boiler serta pengaruh udara pembakaran yang bervariasi terhadap efisiensi boiler yang terjadi. Melakukan pengambilan data yang berasal dari data sekunder berupa data historis dari ruang CCR PLTU periode Juli 2023, data spesifikasi boiler, dan data maintenance boiler. Untuk data yang diolah merupakan data dengan kondisi laju alir udara pembakaran yang bervariasi dengan laju alir bahan bakar yang konstan. Setelah itu melakukan perhitungan dan analisis dengan standar acuan ASME PTC 4.1. Tahap akhir dari penelitian ini adalah membahas hasil analisis dan membuat kesimpulan berupa implikasi dari hasil penelitian dan memberikan rekomendasi berdasarkan analisis data.

Metodologi ini memastikan bahwa penelitian dilakukan secara sistematis dan hasil yang diperoleh dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Berikut merupakan diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan data primer penelitian berupa spesifikasi nameplate boiler DG1025/17.4 II 13 Dong Fang Boiler Group Co. Ltd.

Boiler Model		DG1025/17.4-II 13		
Manufacturer		Dong Fang Boiler Group Co., Ltd.		
Superheated steam	Max. continuous evaporation	t/h	BMCR operating condition	BRL operating condition
	Rated evaporation	t/h	1025	976.2
	Outlet pressure	MPa	17.4	17.32
	Outlet temperature	°C	541	541
Reheated steam	Flow	t/h	839.4	802
	Inlet/outlet pressure	MPa	3.76/3.58	3.59/3.41
	Inlet/outlet temperature	°C	329/541	324/541
	Flue gas temperature (corrected)	°C	131	131
	Feedwater temperature	°C	281	278
Drum pressure	MPa	18.77	18.58	
Design efficiency	%	93.26	93.71	
Manufacturing date				
Startup date				

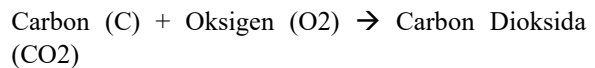
Note: BRL operating condition corresponds to TRL operating condition of the steam turbine.

Gambar 2. Spesifikasi Boiler [2]

2.1 Kebutuhan Udara Teoritis

Analisis pembakaran untuk menghitung kebutuhan udara teoritis dapat dilakukan dengan berdasarkan satuan berat atau berdasarkan satuan volume. Dalam penelitian ini, kebutuhan udara pembakaran teoritis dilakukan dengan berdasarkan satuan berat dengan menggunakan data analisis ultimat bahan bakar[4].

Persamaan pembakaran untuk Karbon:



$$12 \text{ kg} + 32 \text{ kg} \rightarrow 44 \text{ kg}$$

$$(\%C \times 12/12) + (\%C \times 32/12) \rightarrow (\%C \times 44/12)$$

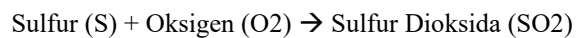
Persamaan pembakaran untuk Hidrogen:



$$2 \text{ kg} + \frac{1}{2}(32 \text{ kg}) \rightarrow 18 \text{ kg}$$

$$(\%H \times 2/2) + (\%H \times 16/2) \rightarrow (\%H \times 18/2)$$

Persamaan pembakaran untuk Sulfur:



$$32 \text{ kg} + 32 \text{ kg} \rightarrow 64 \text{ kg}$$

$$(\%S \times 32/32) + (\%S \times 32/32) \rightarrow (\%S \times 64/32)$$

Proporsi Oksigen dan Nitrogen dalam udara/atmosfer berdasarkan berat, adalah Oksigen 23,2% sedangkan Nitrogen 76,8%, maka:

$$\text{Kebutuhan Oksigen Teoritis} \times 100/23,2 \quad (1)$$

$$\text{Udara Teoritis} = 100/23,2 \times (\text{O}_2 \text{ required Carbon} + \text{O}_2 \text{ required Hidrogen} + \text{O}_2 \text{ required sulfur} - \text{O}_2 \text{ pada batubara}) \quad (2)$$

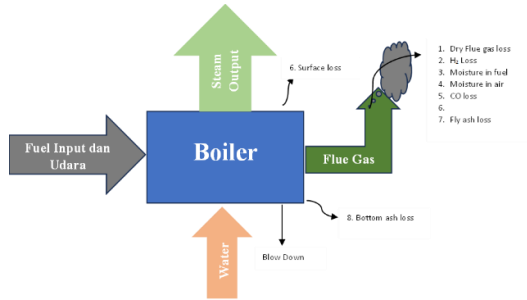
2.2 Efisiensi Boiler

Ada dua metode yang dapat digunakan untuk menentukan efisiensi boiler, yaitu metode langsung

(input & output heat method) dan metode tidak langsung (heat loss method). Standar acuan perhitungan efisiensi boiler menggunakan standar American ASME PTC 4.1 Power Test Code [1].

Indirect Method (Metode heat loss)

Metode *heat loss* merupakan metode perhitungan efisiensi dengan *mengetahui* perbedaan antara panas yang hilang, dan energi yang masih ke boiler [1].



Gambar 1. Sankey Diagram Heat Loss Method

$$\eta_{\text{boiler}} = 100\% - (L1 + L2 + L3 + L4 + L5 + L6 + L7 + L8)\% \quad (3)$$

Dimana:

η_{boiler} = efisiensi boiler (%)

L1 = Losses gas buang kering (panas sensible) (%)

$$L1 = \frac{\dot{m} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ Batu bara}} \times 100 \quad (4)$$

L2 = Losses steam dalam bahan bakar (H2) (%)

$$L2 = \frac{9 \times H2 \times (584 + Cp (Tf - Ta))}{GCV \text{ batu bara}} \times 100 \quad (5)$$

L3 = Losses kandungan air bahan bakar (H2O) (%)

$$L3 = \frac{M \times (584 + Cp (Tf - Ta))}{GCV \text{ batu bara}} \times 100 \quad (6)$$

L4 = Losses kandungan air di udara pembakaran (H2O) (%)

$$L4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times Cp \times (Tf - Ta)}{GCV \text{ Batu bara}} \times 100 \quad (7)$$

L5 = Losses pembakaran tidak sempurna (CO) (%)

$$L5 = \frac{\% CO \times C}{\% CO + \% CO2} \times \frac{5744}{HHV \text{ batubara}} \times 100 \quad (8)$$

L6 = Losses radiasi permukaan, konveksi dan yang tak terhitung lainnya* (%)

***kerugian yang sulit diukur atau sangat kecil nilainya**

Rugi-rugi berikut ini berlaku untuk bahan bakar padat pada kondisi:

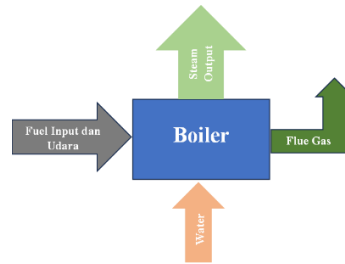
L7 = Losses karena kandungan fly ash (%)

$$L7 = \frac{\text{total abu per kg bb terbakar} \times GCV \text{ of fly ash}}{GCV \text{ batu bara}} \times 100$$

L8 = Losses karena kandungan bottom ash (%)

$$L8 = \frac{\text{total abu per kg bb terbakar} \times GCV \text{ of bottom ash}}{GCV \text{ batu bara}} \times 100$$

Direct Method (Metode Input-Output)



Gambar 2. Sankey Diagram Skema Input-Output

Metode input-output ini terbagi menjadi dua sumber data, energi input *didapatkan* dari nilai kalor dan laju aliran massa bahan bakar yang digunakan, sedangkan energi output dapat diketahui dengan mengukur laju alir, temperatur, dan tekanan air umpan yang masuk ke dalam boiler.

Metode langsung ini dapat dilihat pada persamaan berikut[1]:

$$\eta_{\text{Boiler}} = \frac{\text{Energi Output}}{\text{Energi input}} \times 100\% \quad (11)$$

$$\eta_{\text{Boiler}} = \frac{\dot{m} \text{ steam} (h \text{ steam} - h \text{ fw})}{\dot{m} \text{ BB} \times GCV \text{ BB}} \quad (12)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Langkah perhitungan kebutuhan udara pembakaran dan efisiensi boiler dilakukan dengan beberapa tahapan, diantaranya:

- Menghitung Udara Teoritis (UT)
- Menghitung *Excess Air* (EA)
- Menghitung Massa Udara Suplai (AAS)
- Menghitung *Losses* pada boiler (Efisiensi tidak langsung)
- Menghitung Input-output pada boiler (Efisiensi langsung)

3.1 Hasil Perhitungan

Tabel 1. Kebutuhan udara teoritis

m air	m Coal	Udara Aktual	Udara Teoritis
(T/h)	(T/h)	(Kg air/Kg coal)	(kg air/kg coal)
1202,79	183,06	6,57	8,35
1150,08	183,06	6,28	8,35

m air	m Coal	Udara Aktual	Udara Teoritis
(T/h)	(T/h)	(Kg air/Kg coal)	(kg air/kg coal)
1100,89	183,06	6,01	8,35
1050,20	183,06	5,74	8,35

Rata-rata udara aktual = $(6,57 + 6,28 + 6,01 + 5,74) / 4 = 6,16$ kg air/kg coal

Udara Teoritis = 8,25 kg air/kg coal

Rasio perbandingan udara aktual dan udara teoritis didapatkan dengan cara:

Perbandingan udara aktual : udara teoritis = $\frac{6,15}{8,35} \approx 0,74$

Untuk mendapatkan rasio 1 : x, dilakukan perhitungan:

$0,74 : 1 \approx 1 : \frac{1}{0,74} \approx 1 : 1,35$

Dengan hasil ini, perbandingan 1:1,35 menunjukkan bahwa untuk setiap 1 kg udara aktual yang digunakan, seharusnya 1,35 kg udara teoritis diperlukan. Ini mengindikasikan bahwa pasokan udara aktual hanya sekitar 74% dari kebutuhan udara teoritis.

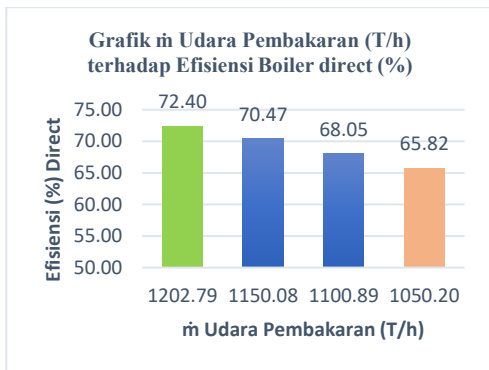
Tabel 2. Efisiensi direct & indirect boiler

Flow Udara	Efisiensi Direct	Efisiensi Indirect
(T/h)	(%)	(%)
1202,79	72,40	70,95
1150,08	70,47	70,42
1100,89	68,05	70,31
1050,20	65,82	70,41

Analisa efisiensi dilakukan dengan perhitungan *heat loss* secara tidak langsung dan input-output secara langsung, namun untuk analisis penelitian ini difokuskan pada pengaruh variasi udara pembakaran terhadap efisiensi boiler yang dihasilkan. Terlihat bahwa efisiensi yang terjadi menandakan bahwa semakin besar pasokan udara pembakaran maka semakin besar pula efisiensi boiler yang terjadi, baik secara langsung maupun tidak langsung.

3.2 Analisa Grafik Efisiensi Boiler

Efisiensi Direct



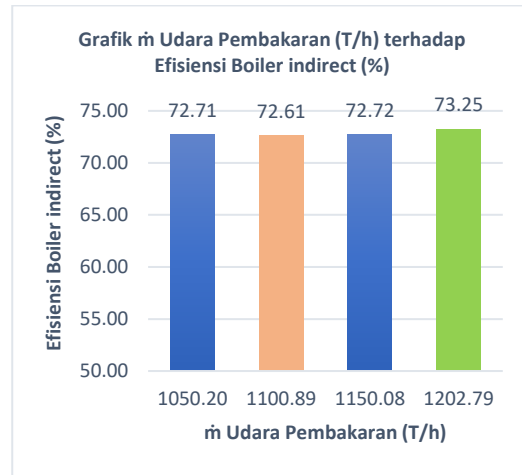
Gambar 5. Grafik Efisiensi Langsung Boiler

Gambar 5 menunjukkan pengaruh variasi laju alir udara pembakaran terhadap efisiensi boiler secara

langsung. Dengan kondisi data udara pembakaran yang bervariasi, lalu laju alir bahan bakar yang tetap maka didapat kesimpulan bahwa semakin besar laju alir udara pembakaran maka efisiensi yang dihasilkan akan semakin besar pula.

Efisiensi tertinggi didapatkan pada saat variasi laju alir udara pembakaran sebesar 1202,79 T/h dengan efisiensi sebesar 73,25%. Lalu efisiensi terendah didapatkan pada variasi udara pembakaran 1050,20 T/h dengan efisiensi sebesar 72,71 %.

Efisiensi Indirect



Gambar 6. Grafik Efisiensi Tidak Langsung Boiler

Gambar 6 menunjukkan pola variasi efisiensi boiler secara tidak langsung seiring dengan perubahan laju alir udara pembakaran. Terlihat bahwa fluktuasi efisiensi terjadi seiring dengan variasi laju alir udara pembakaran. Peningkatan laju alir udara pembakaran tidak selalu menghasilkan peningkatan efisiensi yang konsisten, terdapat fluktuasi pada hasil pengolahan data.

Efisiensi tertinggi didapatkan pada saat variasi laju alir udara pembakaran sebesar 1202,79 T/h dengan efisiensi sebesar 72,40%. Lalu efisiensi terendah didapatkan pada variasi udara pembakaran 1050,20 T/h dengan efisiensi sebesar 65,82%.

4. Simpulan

1. Kebutuhan udara pembakaran secara teoritis berdasarkan hasil perhitungan sebesar 8,35 $\frac{kg\ air}{kg\ coal}$. Kebutuhan udara aktual diketahui sebesar 6,15 $\frac{kg\ air}{kg\ coal}$. Perbandingan antara kebutuhan udara pembakaran secara teoritis dengan aktual didapat sebesar 6,15 : 8,35 atau 1 : 1,35. Ini mengindikasikan bahwa pasokan udara aktual hanya sekitar 74% dari kebutuhan udara teoritis.

2. Efisiensi boiler secara langsung pada variasi udara terkecil yaitu 1050,20 T/h sebesar 65,82% sedangkan pada variasi udara terbesar yaitu 1202,79 T/h menghasilkan efisiensi sebesar 72,40%. Efisiensi boiler secara tidak langsung pada variasi udara terkecil yaitu 1050,20 T/h sebesar 70,41% sedangkan pada variasi udara terbesar yaitu 1202,79 T/h menghasilkan efisiensi sebesar 70,95%.
3. Dari hasil analisa menunjukkan apabila jumlah laju alir udara aktual yang dibutuhkan untuk proses pembakaran nilainya semakin mendekati dengan jumlah laju alir udara idealnya (teoritis) maka secara tidak langsung akan menaikkan efisiensi boiler yang terjadi.

Daftar Pustaka

- [1] *American Society of Mechanical Engineers* (ASME). (1999). *Steam Generation Unit*, ASME PTC 4.1-1964. New York: ASME.
- [2] *Boiler Operating Manual Dongfang Boiler Group Co. Ltd.*
- [3] *PLTU 3 Banten (3x315 MW) Maintenance Manual for Boiler Equipment.*
- [4] Anonim. (2006). PT PLN (Persero). Pusat Pelatihan dan Pendidikan “Teori Pembakaran”.
- [5] Babcock & Wilcox, *Steam/Its Generation and Use* 29ed, The Babcock and Wilcox Co, 1978.