

ASSESSMENT UNJUK KERJA BOILER TWA 6000 KG/H DI KILANG PPSDM MIGAS CEPU

Ayyub^{1*}, Hafid Suharyadi¹

¹Teknik Mesin Kilang, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No.38, Blora,
Jawa Tengah, 58315

*E-mail : ayyubbintaryaman@gmail.com

ABSTRAK

Kilang PPSDM Migas merupakan fasilitas industri milik PPSDM Migas yang mengolah minyak mentah dari lapangan kawengan dan lapangan ledok milik PT. Pertamina EP Asset 4 Field Cepu. *Boiler* TWA 6000 kg/h merupakan salah satu dari tiga unit *boiler* yang ada di *boiler plant* PPSDM Migas. *Boiler* ini berjenis *fire tube boiler* dan berbahan bakar campuran residu dan solar. *Boiler* ini mampu menghasilkan uap dengan kapasitas maksimal 6000 kg/jam dan sudah beroperasi selama 6 tahun. Seiring berjalannya waktu pengoperasian, efisiensi *boiler* berpotensi mengalami penurunan. Untuk mengetahui penurunan efisiensi *boiler* perlu dilakukan perhitungan efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung dan metode tidak Langsung. Dalam perhitungan efisiensi metode langsung didapatkan panas masuk sebesar 2.353.496 kcal/jam dan panas Keluar berupa hasil uap yang terpakai sebesar 1.894.965 kcal/jam sehingga didapatkan efisiensi sebesar 80,52 %. Untuk melakukan perhitungan efisiensi metode tidak langsung didapatkan total panas masuk sebesar 2.603.063 kcal/jam dan total panas yang hilang sebesar 516.353 kcal/jam sehingga didapatkan efisiensi sebesar 80,19 %. Perbedaan nilai efisiensi menggunakan dua metode dikarenakan perhitungan dengan metode langsung merupakan perbandingan antara energi yang ada dalam keluaran aliran uap dengan energi yang berguna dalam bahan bakar yang digunakan. Sedangkan untuk metode tidak langsung terdapat perhitungan persentase panas yang hilang.

Kata kunci: *Boiler*, TWA 6000 kg/h, Efisiensi, Uap, Panas

1. PENDAHULUAN

Kilang minyak PPSDM Migas adalah suatu fasilitas industri milik PPSDM Migas yang mengolah minyak mentah dari lapangan Ledok dan Kawengan milik PT.Pertamina EP Asset 4 Cepu menjadi produk *petroleum* yang bisa digunakan secara langsung maupun menjadi produk lain sebagai bahan baku bagi industri petrokimia. Untuk menunjang proses pengolahan minyak mentah di kolom fraksinasi dibutuhkan alat untuk menghasilkan uap untuk memanaskan minyak mentah yaitu *boiler* [1]. *Boiler* yang digunakan di Kilang minyak PPSDM Migas berbahan bakar residu dan berjenis *firetube*, pada *boiler* jenis ini gas panas melewati *tube* dan air umpan berada di *shell* [2].

Pada proses pemanasan air umpan menjadi uap, volumenya akan meningkat sekitar 1600 kali lipat, menghasilkan kekuatan yang hampir sama eksplosifnya dengan mesiu. Hal ini menyebabkan *boiler* menjadi peralatan yang sangat berbahaya yang harus diperlakukan dengan sangat hati-hati[3]. Efisiensi *boiler* adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara supply energi masuk ke dalam *boiler* dengan energi keluaran yang dihasilkan oleh *boiler*. Efisiensi Pembakaran *Boiler* secara umum menjelaskan kemampuan sebuah *burner* untuk membakar keseluruhan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar (*furnace*) *boiler*. Efisiensi *boiler* dihitung dari jumlah bahan bakar yang tidak terbakar bersamaan dengan jumlah udara sisa pembakaran (*excess air*).

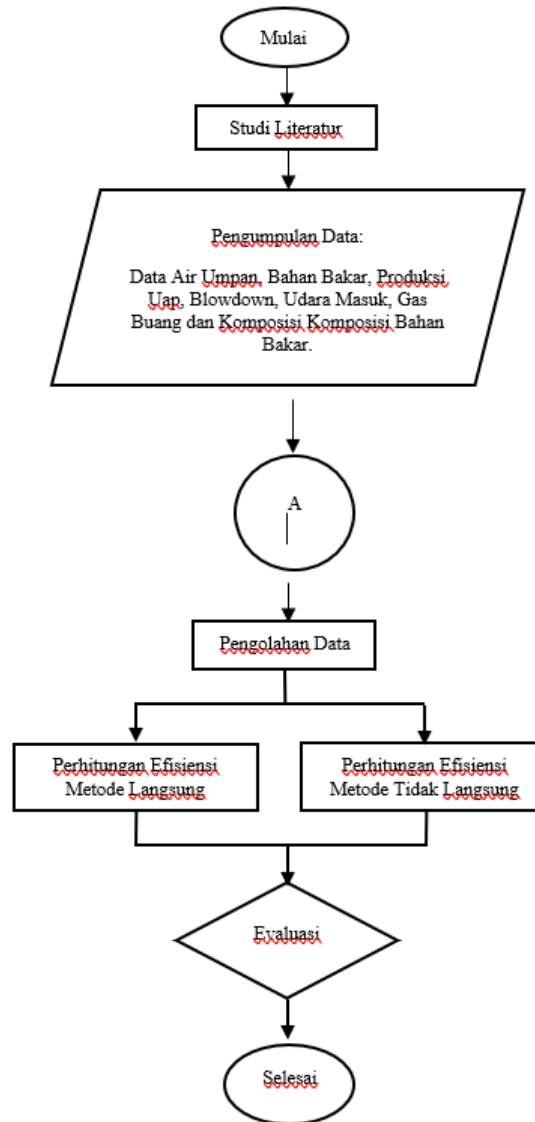
Proses pembakaran pada *boiler* dapat dikatakan efisien apabila tidak ada bahan bakar yang tersisa di ujung keluaran ruang bakar *boiler*, begitu pula dengan jumlah udara sisa [4].

Efisiensi metode langsung adalah menghitung efisiensi dengan membandingkan energi yang ada dalam aliran keluaran uap dan energi yang berguna dalam bahan bakar yang digunakan. Efisiensi metode tidak langsung adalah metode perhitungan efisiensi dengan cara menghitung besarnya persentase panas yang hilang atau tidak bermanfaat (*heatloss*). Metode ini sangat efektif digunakan untuk menemukan potensi penghematan energi ketel uap berdasarkan neraca panas. Untuk menggunakan metode ini, perlu menghitung kebutuhan udara, besarnya panas masuk dan panas yang keluar pada ketel uap[5].

Perhitungan efisiensi pada *boiler* diperlukan untuk mengetahui perbedaan Efisiensi aktual dengan Efisiensi desain dari *boiler* tersebut [6]. Penggunaan energi yang tidak efisien dapat menyebabkan biaya operasional tinggi [7]. Oleh karena itu, penulis melakukan kajian mengenai Efisiensi pada *boiler* TWA 6000kg/h di Kilang minyak PPSDM Migas.

2. METODE

Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode kualitatif dan kuantitatif. Dalam implementasinya, penulis melakukan studi literatur terlebih dahulu untuk mendalami teori yang berkaitan dengan *boiler*, serta mengumpulkan data *boiler*. Setelah mendapatkan data-data penulis melanjutkan penelitian dengan melakukan kalkulasi Efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung dan metode tidak langsung. Setelah melakukan perhitungan penulis dapat mengambil kesimpulan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

A. Data Spesifikasi Teknis

Data spesifikasi teknis dapat dilihat pada Tabel 1 [8].

Tabel 1 Spesifikasi *Boiler* TWA
Spesifikasi *Boiler* TWA

Spesifikasi <i>Boiler</i> TWA	
Tipe	Fire Tube
Tahun Pembuatan	2017
Kapasitas Evaporasi	6000 kg/h
Bahan Bakar	Heavy Fuel Oil
<i>Pressure Design</i>	12 kg/cm ²

Maximum Operating Pressure	10 kg/cm ²
Efisiensi	85%

B. Data Operasi

Data operasi dapat dilihat pada Tabel 2 s.d. Tabel 7.

Tabel 2 Data Air Umpan

Variabel	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_w	60	Deg C
Tekanan	P_w	1	kg/cm ²
Enthalpy	h_w	60,033	kcal/kg
Volume Spesific	v_w	0,00102	m ³ /kg
Jam Operasi		24	jam
Total Pemakaian Air		3.824	m ³ /jam
Total Berat Pemakaian Air	W_w	3.760,08	kg/jam

Tabel 3 Data Bahan Bakar

Variabel	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_f	72	Deg C
Tekanan	P_f	14	kg/cm ²
Spesific Gravity	SG 60/60	0,9182	-
Water Content	W	3.194	%
Moisture ratio	M_f	0,003	kg
Panas Jenis Bahan Bakar	C_{p_f}	0,48	kcal/kg Deg C
High Heating Value	HHV	11.213,26	kcal/kg
Total Fuel Consumption		5.486	l/hari
		228,58	l/jam
Total Berat Pemakaian Bahan Bakar	W_f	209,89	kg/jam

Tabel 4 Data Produksi Uap

Variabel	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_s	140	Deg C
Tekanan	P_s	4	kg/cm ²
Enthalpy	h_s	653,322	kcal/kg
Jumlah Blowdown	W_s	3.194	kg/jam

Tabel 5 Data Blowdown

Variabel	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_{BD}	95	Deg C
Tekanan	P_{BD}	4	kg/cm ²
Enthalpy	h_{BD}	95,146	kcal/kg
Jumlah Blowdown	W_{BD}	566,08	kg/jam

Tabel 6 Data Udara Masuk

Variabel	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_a	140	Deg C
Panas Jenis Udara	P_a	4	kg/cm ²
Rasio Kelembaban	h_A	653,322	kcal/kg
Udara Teoritis	W_a	1.864,29	kg/jam
Udara Pasok Sebenarnya	W_A	2.274,43	kg/jam

Tabel 7 Data Gas Buang

Variabel	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_{fg}	190	Deg C
Enthalpy	H_{sup}	655,702	kcal/kg
Berat Gas Buang	W_{fg}	1.756,54	kg/jam

C. Perhitungan Neraca Panas

a. Panas Masuk

Panas masuk dapat dihitung dengan Pers. (1) s.d. Pers. (6)[9].

- Panas hasil pembakaran bahan bakar (Q_p) dapat dihitung dengan Pers. (1)

$$Q_p = W_f \times HHV \quad (1)$$

- Panas *sensible* bahan bakar (Q_f) dapat dihitung dengan Pers. (2).

$$Q_f = (1 - W) \times C_{pf} \times t_f \times W_f \quad (2)$$

- Panas *sensible* air karena kelembapan bahan bakar (Q_w) dapat dihitung dengan Pers. (3).

$$Q_w = W \times C_{pf} \times t_f \times W_f \quad (3)$$

- Panas *sensible* udara pembakaran (Q_{AI}) dapat dihitung dengan Pers. (4).

$$Q_{AI} = W_A \times C_{pa} \times t_a \quad (4)$$

-Panas *sensible* air karena kelembapan udara (Q_{ma}) dapat dihitung dengan Pers. (5).

$$Q_{ma} = W_A \times C_{pa} \times t_a \times M_A \quad (5)$$

-Panas *sensible* air umpan (Q_{fw}) dapat dihitung dengan Pers. (6).

$$Q_{fw} = W_w \times h_w \quad (6)$$

b. Panas Keluar

Panas Keluar dapat dihitung dengan Pers. (7) s.d. Pers. (13) [10]

-Panas yang terbawa oleh hasil uap (Q'_s) dapat dihitung dengan Pers. (7).

$$Q'_s = W_s \times h_s \quad (7)$$

-Panas keluar yang terbawa oleh gas buang (Q'_{fg}) dapat dihitung dengan Pers. (8).

$$Q'_{fg} = W_{fg} \times C_{pa} \times t_{fg} \quad (8)$$

-Panas keluar yang terbawa uap air dalam gas buang karena kelembapan udara dalam pembakaran (Q'_{ma}) dapat dihitung dengan Pers. (9).

$$Q'_{ma} = W_A \times M_A \times H'_{sup} \quad (9)$$

-Panas keluar yang terbawa uap air dalam gas buang karena kelembapan bahan bakar (Q'_w) dapat dihitung dengan Pers. (10).

$$Q'_w = W \times W_f \times H'_{sup} \quad (10)$$

-Panas Keluar yang terbawa uap air dalam gas buang karena adanya hidrogen dalam bahan bakar (Q'_H) dapat dihitung dengan Pers. (11).

$$Q'_H = 9H_2 \times H'_{sup} \quad (11)$$

-Panas keluar yang terbawa *blowdown* (Q'_{BD}) dapat dihitung dengan Pers. (12).

$$Q'_{BD} = W_{BD} \times h_{BD} \quad (12)$$

-Panas keluar yang hilang melalui dinding (Q'_{WALL}) dapat dihitung dengan Pers. (13).

$$Q'_{WALL} = (Q_p + Q_f + Q_w + Q_{AI} + Q_{ma} + Q_{fw}) - (Q'_s + Q'_{fg} + Q'_{ma} + Q'_w + Q'_{BD} + Q'_H) \quad (13)$$

D. Perhitungan Efisiensi Menggunakan Metode Langsung

Efisiensi dengan metode Langsung dapat dihitung dengan Pers. (14) [9].

$$eff = \frac{W_s \times (h_s - h_w)}{W_f \times HHV} \times 100 \quad (14)$$

E. Perhitungan Efisiensi Menggunakan Metode Tidak Langsung

Efisiensi *boiler* dengan metode tidak Langsung dapat dihitung dengan Pers. (15) s.d. Pers. (17) [10].

$$eff = \left(1 - \frac{\text{total kehilangan panas}}{\text{total panas yang digunakan}} \right) \times 100 \% \quad (15)$$

$$\text{total kehilangan panas} = Q'_{fg} + Q'_{ma} + Q'_w + Q'_{BD} + Q'_H + Q'_{WALL} \quad (16)$$

$$\text{total panas yang digunakan} = Q_p + Q_f + Q_w + Q_{AI} + Q_{ma} + Q_{fw} \quad (17)$$

3. PEMBAHASAN

Boiler TWA 6000 kg/h berjenis *fire tube boiler*, uap yang dihasilkan digunakan sebagai media pemanas residu, fluida kerja, media bantu proses fraksinasi pada kilang dan sebagai media pemanas air umpan pada *de-aerator*. Berdasarkan data operasi dari *Boiler* TWA 6000 kg/h didapatkan proses perhitungan sebagai berikut:

A. Perhitungan Neraca Panas

Proses perhitungan neraca panas dapat dilakukan sesuai dengan persamaan panas masuk dan panas keluar. Hasil dari perhitungan neraca panas dapat dilihat pada Tabel 8. Dari Tabel 8 tampak bahwa panas keluar terbesar adalah panas yang terbawa hasil uap ($Q's$) yaitu sebesar 2.086.710,47 kcal/jam. Panas keluar terkecil adalah Panas yang terbawa uap air dalam gas asap karena kelembaban udara dalam pembakaran ($Q'ma$) yaitu sebesar 20.180,86 kcal/jam. Untuk nilai panas masuk dan panas keluar adalah 2.603.122,61 kcal/kg.

Tabel 8 Neraca Panas

Panas Masuk			Panas Keluar			
Variabel	Pers.	kcal/jam	Variabel	Pers.	kcal/jam	
	No			No		
Q_p	1	2.353.551,14	Q'_s	7	2.086.710,47	
Q_f	2	5.077,66	Q'_{fg}	8	80.098,22	
Q_w	3	2.176,14	Q'_{ma}	9	20.180,86	
Q_{AI}	4	16.375,90	Q'_w	10	42.977,06	
Q_{ma}	5	212,89	Q'_H	11	159.774,15	
Q_{fw}	6	225.728,88	Q'_{BD}	12	53.860,25	
			Q'_{WALL}	13	159.521,60	
Total		2.603.122,61	Total		2.603.122,61	

B. Perhitungan Efisiensi Menggunakan Metode Langsung

Proses perhitungan efisiensi dengan metode langsung dengan Pers. (1) didapatkan nilai efisiensi 80.52 %.

C. Perhitungan Efisiensi Menggunakan Metode Tidak Langsung

Proses perhitungan Efisiensi menggunakan metode tidak langsung dapat dilakukan dengan mengacu pada data operasi dan data hasil perhitungan neraca panas pada Tabel 8. Perhitungan total kehilangan panas dengan Pers. (16) didapatkan 516.412,14 kcal/jam. Perhitungan total panas dengan Pers. (17) didapatkan 2.603.122,61 kcal/jam. Perhitungan efisiensi dengan metode tidak Langsung dengan Pers. (15) didapatkan 80.16%.

Hasil dari perhitungan Efisiensi *boiler* menggunakan metode langsung dan tidak langsung dapat dilihat pada Tabel 9. Dari Tabel 9 tampak bahwa nilai Efisiensi boiler TWA dengan metode langsung sebesar 80,52% dan dengan metode tidak langsung sebesar 80,16%.

Tabel 9 Efisiensi Boiler

Parameter Efisiensi	2024	2017
Metode langsung	80,52%	85%
Metode Tidak Langsung	80,16%	

4. SIMPULAN

Setelah melakukan perhitungan Efisiensi *boiler* didapatkan Efisiensi metode langsung sebesar 80,52% dan Efisiensi metode tidak langsung sebesar 80,16%. Dari hasil perhitungan Efisiensi dengan metode langsung dan tidak langsung dapat disimpulkan bahwa terjadi perbedaan nilai Efisiensi. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan variabel yang dihitung pada setiap metode. Variabel metode langsung hanya membandingkan nilai panas dari *superheated steam* dan panas yang dihasilkan pembakaran bahan bakar. Metode tidak langsung menghitung variabel panas yang tidak bermanfaat atau panas yang hilang. Panas yang hilang meliputi panas yang terbawa gas buang, panas yang terbawa uap air dalam gas buang karena kelembapan udara dalam pembakaran, panas yang terbawa uap air karena kelembapan bahan bakar, panas yang terbawa *blowdown*, panas terbawa uap air dalam gas buang karena adanya hidrogen dalam bahan bakar dan panas yang hilang melalui dinding.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Cepu, "Profile PPSDM Migas Cepu," 2023. https://ppsdmmigas.esdm.go.id/id/Profile/tentang_kami (accessed Sep. 30, 2024).
- [2] United Nations Environment Programme, "Boiler & pemanas fluida termis 1.," *Peralat. Efisiensi Energi untuk Ind. di Asia*, pp. 1–42, 2008, [Online]. Available: www.energyefficiencyasia.org.
- [3] S. Winarto, "Penghematan Energi Pada Steam Boiler," *Forum Teknol.*, vol. 04, no. 2, pp. 36–42, 2018.
- [4] A. Sugiharto, "Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api," *Maj. Ilm. Swara Patra*, vol. 10, no. 2, pp. 51–57, 2020, doi: 10.37525/sp/2020-2/260.
- [5] C. D. Mojica-Cabeza, C. E. García-Sánchez, R. Silva-Rodríguez, and L. García-Sánchez, "A review of the different boiler efficiency calculation and modeling methodologies," *Inf. Técnico*, vol. 86, no. 1, pp. 69–93, 2021, doi: 10.23850/22565035.3697.
- [6] S. Punte, "Energy Efficiency Guide for Industry in Asia," 2006, [Online]. Available: <http://www.energyefficiencyasia.org/>.
- [7] K. Hernawan, J. Teknik, K. Energi, and P. N. Bandung, "Peluang penghematan energi pada boiler di pt indo bharat rayon," vol. 10, no. November, pp. 19–23, 2020.
- [8] T. P. Migas, *Buku Seputar Boiler*. 2023.
- [9] S. Winarto, "Perbandingan Efisiensi Pada Boiler Ii Twa Ppsdm Migas Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung Periode Bulan Maret 2023," *J. Nas. Pengelolaan Energi MigasZoom*, vol. 5, no. 2, pp. 167–174, 2023, doi: 10.37525/mz/2023-2/549.
- [10] E. Yohana and Askhabulyamin, "Perhitungan Efisiensi Dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar Ke Gas PADA BOILER EBARA HKL 1800 KA," *Rotasi*, vol. 14, no. 2, pp. 7–10, 2012.

Daftar Simbol

Eff	= Efisiensi, %
W_s	= Jumlah <i>steam</i> , kg/jam
h_s	= Enthalpy <i>steam</i> , kcal/kg
h_w	= Enthalpy air umpan, kcal/kg
W_f	= Jumlah bahan bakar, kg/jam
HHV	= Nilai kalori bahan bakar, kcal/kg
W	= Kandungan air dalam bahan bakar, %
C_{pa}	= Panas jenis rata-rata gas asap kering, yakni 0,24 kcal/kg°C
t_f	= Suhu bahan bakar, °C
C_{pff}	= Panas jenis bahan bakar, kcal/kg °C
W_A	= Kebutuhan udara sebenarnya dalam pembakaran, (kg/jam)
t_a	= Suhu udara masuk, °C
M_A	= Rasio kelembaban
W_W	= Berat air umpan, kg/jam
W_{fg}	= Berat gas asap, kg/jam
t_{fg}	= Suhu gas asap, °C
H'_{sup}	= Enthalpy uap lewat jenuh, kcal/kg
W_{BD}	= Berat air <i>blowdown</i> , kg/jam
h_{BD}	= Enthalpy <i>blowdown</i> , kcal/kg
Q_p	= Panas hasil pembakaran bahan bakar, kcal/jam
Q_f	= Panas sensible bahan bakar, kcal/jam
Q_w	= Panas sensible air karena kelembapan bahan bakar, kcal/jam
Q_{AI}	= Panas <i>sensible</i> udara pembakaran, kcal/jam
Q_{ma}	= Panas <i>sensible</i> air karena kelembapan udara, kcal/jam
Q_{fw}	= Panas <i>sensible</i> air umpan, kcal/jam
Q'_s	= Panas yang terbawa oleh hasil uap, kcal/jam
Q'_{fg}	= Panas keluar yang terbawa oleh gas asap, kcal/jam
Q'_{ma}	= Panas keluar yang terbawa uap air dalam gas asap karena kelembapan udara dalam pembakaran, kcal/jam
Q'_w	= Panas keluar yang terbawa uap air dalam gas asap karena kelembapan bahan bakar, kcal/jam
Q'_H	= Panas Keluar yang terbawa uap air dalam gas asap karena adanya hidrogen dalam bahan bakar, kcal/jam
Q'_{BD}	= Panas keluar yang terbawa <i>blowdown</i> , kcal/jam
Q'_{WALL}	= Panas keluar yang hilang melalui dinding, kcal/jam