
Perbandingan Efisiensi pada Boiler II TWA PPSDM Migas Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung Periode Bulan Maret 2023

Aditya¹, Dicky Darmawan¹, Sonden Winarto²

¹Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta

²PPSDM MIGAS, Cepu

INFORMASI NASKAH

Diterima : 18 November 2023
Direvisi : 18 November 2023
Disetujui : 25 November 2023
Terbit : 25 November 2023

Email korespondensi:

sonden.winarto@esdm.go.id

Laman daring:

<https://doi.org/10.37525/mz/2023-2/549>

ABSTRAK

Untuk memastikan kinerja boiler yang optimal, evaluasi efisiensi boiler pada PPSDM MIGAS sangat penting dilakukan. PPSDM MIGAS menggunakan dua metode evaluasi efisiensi boiler yaitu langsung dan tidak langsung. Metode langsung melibatkan pengukuran parameter yang berkaitan dengan pembakar bahan bakar dan produksi uap, dari analisis yang dilakukan menggunakan metode langsung nilai efisiensi boiler di PPSDM MIGAS sebesar 77,63%. Sedangkan metode tidak langsung dilakukan dengan mengukur parameter seperti suhu gas buang dan komposisi gas buang, dari analisis yang dilakukan menggunakan metode tidak langsung didapati hasil nilai efisiensi boiler sebesar 76,22%.

Kata kunci: Boiler, Efisiensi, Langsung, Tidak langsung.

ABSTRACT

To ensure optimal boiler performance, boiler efficiency evaluation at PPSDM MIGAS is very important. PPSDM MIGAS uses two boiler efficiency evaluation methods, namely direct and indirect. The direct method involves measuring parameters related to fuel burners and steam production, from the analysis carried out using the direct method, the boiler efficiency value at PPSDM MIGAS is 77.63%. While the indirect method is carried out by measuring parameters such as exhaust gas temperature and exhaust gas composition, from the analysis carried out using the indirect method, the boiler efficiency value of 76.22% was obtained.

Keywords: Boiler, Efficiency, Direct, Indirect

PENDAHULUAN

Boiler adalah suatu bejana tertutup yang terbuat dari baja yang berfungsi mengubah air menjadi uap atau mentransfer panas yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar sehingga berubah fase menjadi uap. Uap yang dihasilkan dari boiler ini pada umumnya berasal dari proses pembakaran yang menggunakan bahan bakar gas, cair maupun bahan bakar padat. Pada industri migas uap bertekanan yang dihasilkan bisa digunakan untuk proses pembangkitan listrik, proses di kilang, pemanas, steam flooding dan sebagainya. (Sugiharto, n.d.)

Efisiensi boiler adalah perbandingan energi panas yang diserap oleh air yang mengalir melalui boiler dan energi panas yang dilepaskan oleh bahan bakar yang dibakar di dalam boiler. Dengan kata lain, efisiensi boiler adalah kemampuan boiler untuk mengubah energi panas dalam bahan bakar menjadi energi panas yang dapat digunakan air untuk menghasilkan uap. Efisiensi boiler dapat diukur sebagai persentase, dan semakin tinggi persentasenya, semakin efisien boiler menghasilkan uap dari bahan bakar yang digunakan. (Prasetyo et al., n.d.)

Ada 2 metode yang dapat digunakan untuk mengukur efisiensi boiler, yaitu menggunakan metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung adalah cara yang digunakan untuk menghitung efisiensi dengan menghitung besarnya superheated steam yang dihasilkan dibandingkan dengan panas hasil pembakaran dari bahan bakar. Efisiensi dengan metode ini juga dikenal dengan thermal efisiensi ketel uap, dengan rumus:

$$\eta_{boiler} = \frac{W_s \times (h_s - h_w)}{W_f \times HHV} = 100\%$$

Dimana:

- W_s : Jumlah produksi steam (kg/jam)
- H_s : Enthalpy superheated steam (kcal/kg)
- H_w : Enthalpy air umpan boiler (kcal/kg)
- W_f : Jumlah pemakaian bahan bakar (kg/jam)
- HHV : Nilai kalor pembakaran tinggi (kcal/kg)

Metode tidak langsung adalah cara yang digunakan untuk menghitung besarnya presentase panas yang tidak bermanfaat. Metode ini sangat efektif digunakan dalam usaha untuk menemukan potensi penghematan energi ketel uap berdasarkan neraca panas. Untuk menghitung efisiensi dengan metode ini, kita harus menghitung besarnya panas yang masuk dan panas yang keluar pada suatu boiler. Perhitungan metode tidak langsung dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta_{boiler} = \left(1 - \frac{\text{total kehilangan panas}}{\text{total panas yang digunakan}} \right) 100\%$$

Dimana:

- Total Kehilangan Panas:

$$Q'_{fg} + Q'_{ma} + Q'_w + Q'_H + Q'_{BD} + Q'_{wall}$$

- Q'_{fg} : Panas yang terbawa oleh gas asap
- Q'_{ma} : Panas yang terbawa uap air dalam gas asap karena kelembaban udara dalam pembakaran
- Q'_w : Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas asap karena kelembaban bahan bakar
- Q'_H : Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas asap karena adanya hydrogen dalam bahan bakar
- Q'_{BD} : Panas yang terbawa oleh Blow down
- Q'_{wall} : Panas yang hilang melalui dinding

- Total Panas Yang Digunakan :

$$- Q_p + Q_f + Q_w + Q_{AI} + Q_{ma} + Q_{fw}$$

- Q_p : Panas hasil pembakaran bahan bakar
- Q_f : Panas sensible bahan bakar
- Q_w : Panas sensible air karena kelembaban bahan bakar
- Q_{AI} : Panas sensible udara pembakaran
- Q_{ma} : Panas sensible air karena kelembaban udara
- Q_{fw} : Panas sensible air umpan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan selama 1 bulan dari tanggal 1 maret 2023 – 31 maret 2023 di PPSDM MIGAS. Dalam pemnagmbilan data ini menggunakan 3 metode yaitu: yang pertama dengan survei dimana pengumpulan data dengan cara mendatangi objek secara langsung yang berkaitan dengan materi laporan sebagai bahan pertimbangan, yang kedua dengan observasi dimana pemngumpulan data dilakukan dengan pengamatan langsung terhadap objek yang di kaji. Kemudian yang ketiga studi literatur dimana penelitian diambil dengan berupa jurnal perusahaan, petunjuk kerja operator diagram ahli, serta buku referensi dari perpustakaan PPSDM Migas.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data air umpan boiler

Nama	Symbol	Jumlah
Temperature	T_w	75
Tekanan	P_w	6
Enthalpy	h_w	75,0048
Volume spesifik	v_w	0,00102
Jam opraaasi		744
Total pemakaian air		4,545
Total berat pemakaian air	w_w	3381
Volume spesifik	v_w	0,00102
Jam opraaasi		744
Total pemakaian air		4,545
Total berat pemakaian air	w_w	3381

Tabel 2. Data bahan bakar

Nama	Symbol	Jumlah
Temperature	t_f	90
Tekanan	P_f	11
Specific grafitry	SG (60/60)	0,9128
Kandungan air dalam bahan bakar	W	0,095
Panas jenis bahan bakar	C_{pf}	0,48
Kebutuhan bahan bakar		154
Total pemakaian bahan bakar		114576
Total berat pemakaian bahan bakar	W_f	169,4

Tabel 3. Data produksi uap

Nama	Symbol	Jumlah
Temperature	t_s	155
Tekanan	P_s	4
Enthalpy	h_s	657,26
Jumlah produksi uap	w_s	2537

Tabel 4. Data blow down

Nama	Symbol	Jumlah
Temperature	t_{BD}	90
Tekanan	P_{BD}	4
Enthalpy	h_{BD}	90,03
Jumlah blow down	W_{BD}	1158,25

Tabel 5. Data udara masuk

Nama	Symbol	Jumlah
Temperature	t_a	90
Panas jenis udara	C_{pa}	4
No. kelembaban	M_A	90,03

Tabel 6. Data gas asap

Nama	Symbol	Jumlah
Temperature	t_{fg}	90
Enthalpy	H_{sup}	90,03

Perhitungan Pembakaran

A. °API Bahan Bakar

Bahan bakar yang yang digunakan memiliki

$$SG\ 60/60 = 0,9128$$

$$°API = \frac{141,5}{SG\ 60/60} - 131,5$$

$$\begin{aligned} \text{°API} &= \frac{141,5}{0,9128} - 131,5 \\ &= 155,01 - 131,5 \\ &= 23,51 \end{aligned}$$

B. Komposisi Bahan Bakar

Tabel 7. Data Komposisi Bahan Bakar

No	Komposisi Bahan Bakar	Presentase	Banyak
1	Carbon (C)	86,20%	0,8620
2	Hidrogen (H ₂)	12,39%	0,1239
3	Sulfur (S)	0,39%	0,0039
4	Oksigen (O ₂)	0,37%	0,0037
5	Nitrogen (N ₂)	0,12%	0,0012
6	Air (H ₂ O)	0,43%	0,0043
7	Abu (Ash)	0,10%	0,0010
	TOTAL	100%	1

C. HHV Bahan Bakar

Nilai HHV untuk minyak berat:

$$\begin{aligned} \text{HHV} &= 8080 \cdot C + 34500 \left(H_2 - \frac{O_2}{8} \right) + 2220 \cdot S \\ &= (8080 \times 0,862) + 34500 \left(0,1239 - \frac{0,0037}{8} \right) + (2220 \times 0,0039) \\ &= 6964,96 + 34500(0,1239 - 0,0004625) + 8,658 \\ &= 6964,96 + 4258,59 + 8,658 \\ &= 11232,20 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

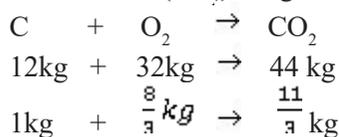
Reaksi Pembakaran

Tabel 8. Berat Atom

Nama	Simbol	Berat
Karbon	C	12
Hidrogen	H	1
Sulfur	S	32
Oksigen	O	16
Nitrogen	N	14

A. Reaksi Pembakaran Karbon (C)

Jika karbon (C) dibakar akan menghasilkan karbondioksida (CO₂) dengan reaksi.



Dari reaksi pembakaran karbon, untuk pembakaran sempurna 1 kg karbon memerlukan ($\frac{8}{3}$ kg) oksigen dan

menghasilkan ($\frac{11}{3}$ kg) karbon dioksida, atau jika kita desimal kan menjadi (3,6 kg) karbondioksida.

- Berat senyawa karbon (C) dalam bahan bakar

$$\begin{aligned} C &= 0,8620 \times W_f = 0,8620 \times 169,4 \\ &= 146,022 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Proses pembakaran C membutuhkan O₂ sebanyak.

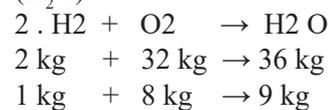
$$\begin{aligned} \frac{8}{3} \times C &= \frac{8}{3} \times 146,022 \text{ kg/jam} \\ &= 389,392 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Proses pembakaran C menghasilkan CO₂ sebanyak

$$\begin{aligned} \frac{11}{3} \times C &= \frac{11}{3} \times 146,022 \text{ kg/jam} \\ &= 535,414 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

B. Reaksi Pembakaran Hydrogen (H₂)

Jika hydrogen dibakar akan menghasilkan (H₂O)



Dari reaksi pembakaran karbon, untuk pembakaran sempurna 1 kg karbon memerlukan 8 kg oksigen dan menghasilkan 9 kg H₂O

- Berat senyawa hydrogen (H₂) dalam bahan bakar.

$$\begin{aligned} H_2 &= 0,1239 \times W_f = 0,1239 \times 169,4 \text{ kg/jam} \\ &= 20,988 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Proses pembakaran H₂ membutuhkan O₂ sebanyak.

$$\begin{aligned} 8 \times H_2 &= 8 \times 20,988 \text{ kg/jam} \\ &= 167,904 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

- Proses pembakaran H₂ menghasilkan HO₂ sebanyak.

$$\begin{aligned} 9 \times H_2 &= 9 \times 20,988 \text{ kg/jam} \\ &= 188,892 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

C. Reaksi Pembakaran Sulfur (S)

Jika hydrogen dibakar akan menghasilkan sulfur dioksida (SO₂)



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

$$1 \text{ kg} + 1 \text{ kg} \rightarrow 2 \text{ kg}$$

Dari reaksi pembakaran sulfur (S), untuk pembakaran sempurna 1 kg karbon memerlukan 1 kg oksigen dan menghasilkan 2 kg sulfur dioksida (SO₂).

- Berat senyawa sulfur (S) dalam bahan bakar

$$S = 0,0039 \times W_c = 0,0039 \times 169,4 \text{ kg/jam} = 0,660 \text{ kg/jam}$$

- Proses pembakaran sulfur (S) membutuhkan O, sebanyak.

$$1 \times S = 1 \times 0,660 \text{ kg/jam} = 0,660 \text{ kg/jam}$$

- Proses pembakaran H₂ menghasilkan HO₂ sebanyak.

$$2 \times S = 2 \times 0,660 \text{ kg/jam} = 1,320 \text{ kg/jam}$$

Kebutuhan Udara

Data analisis orsat gas asap berdasarkan uji laboratorium.

Tabel 9. Data analisis orsat gas asap

Nama	Presentase
CO ₂	12 %
O ₂	5,60 %
C _o	0 %
N ₂	82,20 %

A. Diasumsikan udara terdiri dari : 79% volume N₂ dan 21% volume, 77% berat N₂ dan 23% berat O₂. Nilai koefisien kelebihan udara (M). Perbandingan kebutuhan udara teoritis dengan kebutuhan udara sebenarnya merupakan koefisien kelebihan udara yang disimbolkan sebagai M.

$$M = \frac{(21(\%N_2))}{(21(\%N_2) - 79(\%O_2))} = \frac{(21 \times 82,20\%)}{(21 \times 82,20\%) - (79 \times 5,60\%)}$$

$$\frac{1726,2\%}{1726,2\% - 442,4\%} = 1,344$$

B. Kebutuhan udara untuk pembakaran sempurna (W_o).

$$W_o = \frac{8}{3}C + 8.H_2 + S = (\frac{8}{3} \times 146,022 \text{ kg/jam}) + (8 \times 20,988 \text{ kg/jam}) + 0,660 \text{ kg/jam} = 389,392 \text{ kg/jam} + 167,904 \text{ kg/jam} + 0,660 \text{ kg/jam} = 557,956 \text{ kg/jam}$$

C. Kebutuhan udara sebenarnya secara teoritis (W_a).

$$W_a = \frac{100}{23} \times W_o = \frac{100}{23} \times 557,956 \text{ kg/jam} = 2425,895 \text{ kg/jam}$$

D. Kebutuhan udara sebenarnya (W_A)

$$W_A = M \times W_a = 1,344 \times 2425,895 \text{ kg/jam} = 3260,402 \text{ kg/jam}$$

E. Gas asap hasil pembakaran (W_{fg})

$$excess \text{ air} = \frac{W_A - W_o}{W_o} = \frac{3260,402 \text{ kg/jam} - 557,956 \text{ kg/jam}}{557,956 \text{ kg/jam}} = 0,343 = 34,3\%$$

$$W_{fg} = \frac{11}{3}C + 9.H_2 + 2.S + 0,77.W_A + 0,23.\% \text{ excess air} . W_a = 535,414 \text{ kg/jam} + 188,892 \text{ kg/jam} + 1,320 \text{ kg/jam} + (0,77 \times 3260,402 \text{ kg/jam}) + (0,23 \times 0,343 \times 2425,895 \text{ kg/jam}) = 3427,514 \text{ kg/jam}$$

F. Kadar abu yang keluar

$$W_f + W_A = W_{fg} + W_{abu}$$

$$\begin{aligned}
 &(169,4 \text{ kg/jam} + 3260,402 \text{ kg/jam} = \\
 &3427,514 \text{ kg/jam} + \\
 &W_{\text{abu}}) \\
 &W_{\text{abu}} = 2,288 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 &= 3381 \text{ kg/jam} \times 75,0048 \text{ kcal/kg} \\
 &= 253591,22 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Neraca Panas

1. Panas Masuk

- a. Panas hasil pembakaran bahan bakar (Q_p)

$$\begin{aligned}
 Q_p &= W_f \times HHV \\
 &= 169,4 \times 11232,20 \text{ kcal/kg} \\
 &= 1902734,20 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- b. Panas sensible bahan bakar

$$\begin{aligned}
 Q_f &= (1 - W) \times C_{\text{af}} \times t_f \times W_f \\
 &= (1 - 0,095) \times 0,48 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \times \\
 &\quad 90 \\
 &\quad^\circ\text{C} \times 169,4 \text{ kg/jam} \\
 &= 6622,862 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- c. Panas sensible air karena kelembaban bahan bakar (Q_w)

$$\begin{aligned}
 Q_w &= W \times C_{\text{pf}} \times t_f \times W_f \\
 &= 0,095 \times 0,48 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\
 &\times 90^\circ\text{C} \times 169,4 \text{ kg/jam} \\
 &= 695,217 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- d. Panas sensible bahan bakar (Q_{Al})

$$\begin{aligned}
 Q_{Al} &= W_A \times C_{\text{pa}} \times t_a \\
 &= 3260,402 \text{ kg/jam} \times 0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times 30^\circ\text{C} \\
 &= 23474,894 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- e. Panas sensible air karena kelembaban udara (Q_{ma})

$$\begin{aligned}
 Q_{ma} &= W_A \times C_{\text{pa}} \times t_a \times M_A \\
 &= 3260,402 \text{ kg/jam} \times 0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \\
 &\quad \times 30^\circ\text{C} \times 0,018 \text{ kg} \\
 &= 422,548 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- f. Panas sensible air umpan (Q_{fw})

$$Q_{fw} = W_w \times h_w$$

2. Panas Keluar

- a. Panas yang terbawa oleh hasil uap (Q'_s)

$$\begin{aligned}
 Q'_s &= W_s \times h_s \\
 &= 2537 \text{ kg/jam} \times 657,26 \text{ kcal/kg} \\
 &= 1667468,64 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- b. Panas yang terbawa oleh gas asap (Q'_{fg})

$$\begin{aligned}
 Q'_{fg} &= W_{fg} \times C_{\text{pa}} \times t_{fg} \\
 &= 3427,514 \text{ kg/jam} \times 0,24 \text{ kcal/} \\
 &\quad \text{kg} \\
 &\quad^\circ\text{C} \times 200^\circ\text{C} \\
 &= 164520,672 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- c. Panas yang terbawa air dalam gas asap karena kelembaban udara dalam pembakaran (Q'_{ma})

$$\begin{aligned}
 Q'_{ma} &= W_A \times M_A \times H'_{\text{sup}} \\
 &= 3260,402 \text{ kg/jam} \times 0,018 \text{ kg} \times \\
 &\quad 683,37 \text{ kcal/kg} \\
 &= 40105,096 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- d. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas asap karena kelembaban bahan bakar (Q'_w)

$$\begin{aligned}
 Q'_w &= W \times W_f \times H'_{\text{sup}} \\
 &= 0,095 \times 169,4 \text{ kg/jam} \times \\
 &\quad 683,37 \text{ kcal/kg} \\
 &= 10997,473 \text{ kcal/jam}
 \end{aligned}$$

- e. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas asap karena adanya hydrogen dalam bahan bakar (Q'_H)

$$Q'_H = 9.H_2 \times H'_{\text{sup}}$$

$$= 188,892 \text{ kg/jam} \times 683,37 \text{ kcal/kg}$$

$$= 129083,126 \text{ kcal/jam}$$

f. Panas yang terbawa oleh blow down (Q'_{BD})

$$Q'_{BD} = W_{BD} \times h_{BD}$$

$$= 1158,25 \text{ kg/jam} \times 90,03 \text{ kcal/kg}$$

$$= 104277,24 \text{ kcal/jam}$$

g. Panas yang hilang melalui dinding (Q'_{wall})

$$- \text{Panas masuk} = Q_p + Q_f + Q_w + Q_{AI} + Q_{ma} + Q_{fw}$$

$$1902734,20 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 6622,862 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 695,21 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 23474,89 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 422,54 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 253591,22 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}}$$

$$= 2187540,941 \text{ kcal/jam}$$

$$- \text{Panas keluar} = Q'_s + Q'_{fg} + Q'_{ma} + Q'_w + Q'_H + Q'_{BD}$$

$$= 1667468,64 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 164520,67 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 40105,096 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 10997,473 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 129083,12 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}} + 104277,24 \frac{\text{kcal}}{\text{jam}}$$

$$= 2116452,247 \text{ kcal/jam}$$

Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Langsung

Untuk mencari hasil dari efisiensi boiler menggunakan metode langsung, pertama-tama yang harus kita ketahui dulu adalah nilai dari (enthalpy air umpan boiler pada tabel, total berat bahan bakar pada tabel, HHV nilai pembakaran kalor dan jumlah produksi uap serta enthalpy pada tabel) dimana nilai tersebut sebagai berikut:

Diketahui :

$$hW : 75,0048 \text{ kcal/kg}$$

$$hS : 657,26 \text{ kcal/kg}$$

$$WS : 2537 \text{ kg/jam}$$

$$Wf : 169,4 \text{ kg/jam}$$

$$HHV : 11232,20 \text{ kcal/kg}$$

$$\eta_{boiler} = (Ws \times (hs - hw)) / (Wf \times HHV) = 100\%$$

$$= (2537 \text{ kg/jam} \times (657,26 \text{ kcal/kg} - 75,0048 \text{ kcal/kg})) / (169,4 \text{ kg/jam} \times 11232,20 \text{ kcal/kg}) \times 100\%$$

$$= 1477181,44 / 1902734,68 \times 100\%$$

$$= 77,63\%$$

Dapat kita ketahui dari hasil perhitungan tersebut, nilai efisiensi boiler dengan metode langsung nilai nya adalah (77,63%).

Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Tidak Langsung

Untuk mendapatkan nilai efisiensi boiler menggunakan metode tidak langsung yaitu dengan cara mencari nilai total kehilangan panas dan total panas yang di gunakan, dimana nilai tersebut sebagai berikut:

- Total kehilangan panas:

$$Q'_{fg} + Q'_{ma} + Q'_w + Q'_H + Q'_{BD} + Q'_{wall}$$

$$= 164520,672 \text{ kcal/jam} + 40105,096 \text{ kcal/jam} + 10997,473 \text{ kcal/jam} + 129083,126 \text{ kcal/jam} + 104277,247 \text{ kcal/jam} + 71088,707 \text{ kcal/jam}$$

$$= 520072,321 \text{ kcal/jam}$$

- Total panas yang digunakan:

$$Q_p + Q_f + Q_w + Q_{AI} + Q_{ma} + Q_{fw}$$

$$= 1902734,68 \text{ kcal/jam} + 6622,862 \text{ kcal/jam} + 695,217 \text{ kcal/jam} + 23474,894 \text{ kcal/jam} + 422,548 \text{ kcal/jam} + 253591,22 \text{ kcal/jam}$$

$$= 2187541,421 \text{ kcal/jam}$$

$$\eta_{boiler}$$

$$= \left(1 - \frac{\text{total kehilangan panas}}{\text{total panas yang digunakan}} \right)$$

$$\times 100\%$$

$$= \left(1 - \frac{520072,321 \text{ kcal/jam}}{2187541,421 \text{ kcal/jam}} \right) \times 100\%$$

$$= 76,22\%$$

KESIMPULAN

- a. Efisiensi Boiler II TWA yang menggunakan bahan bakar residu dengan perhitungan metode langsung di dapatkan hasil sebesar 77,63% , dimana hasil tersebut masih sangat efisien dan memenuhi syarat untuk beroperasi karena syarat ideal efisiensi boiler minimal harus 75% mengikuti standart operasional kerja dari PPSDM MIGAS.
- b. Performa boiler dapat menurun itu terjadi karena ada beberapa faktor seperti terjadinya kebocoran pada tube, adanya flag atau krak yang menepel pada pipa saluran sehingga menyebabkan aliran fluida kurang lancar, serta penyebab lain nya.
- c. Hasil perhitungan efisiensi boiler II TWA menggunakan metode tidak langsung mencapai efisiensi sebesar 76,22%. Hasil ini menunjukkan bahwa boiler II TWA tersebut mampu mengubah energi bahan bakar menjadi energi panas.
- d. Efisiensi boiler II TWA yang berada di PPSDM MIGAS belum mencapai tingkat efisiensi tertinggi yang dapat dicapai oleh boiler tersebut.
- e. Boiler II TWA yang berada di PPSDM MIGAS memiliki nilai efisiensi sebesar 76,22% yang membuat PPSDM MIGAS memenuhi persyaratan oprasional karena nilai efisiensinya lebih dari 75%

DAFTAR PUSTAKA

- Citra Kusuma Wardani, A. R. (2020). *EVALUASI EFISIENSI BROILER 02 MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN METODE TIDAK LANGSUNG*. Cepu.
- Galih Prasetyo Aji Gumelar, M. N. (2022). Analisis Efisiensi Boiler Berbahan Bakar Gas di PT XYZ Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung. *Seminar Nasional TREnD, Vol. 2*, 25-26.
- Maulana, H. (2021). *PERENCANAAN PERAWATAN DAN PERBAIKAN KOMPRESOR SCREW AIRMAN KI SAS37S-57/67 PADA UNIT BOILER* . Cepu: 2021.
- Safitri, M. A. (2021). *ANALISIS EFISIENSI BROILER II DI PPSDM MIGAS CEPU MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG*. Cepu.
- Sugiharto, A. (2020). PERHITUNGAN EFISIENSI BOILER DENGAN METODE SECARA LANGSUNG PADA BOILER PIPA API. 3-4.
- Sugiharto, A. (2021). *Buku Seputar Boiler Plant*. Cepu, Blora: PPSDM MIGAS