

EVALUASI UNJUK KERJA *FIRE TUBE BOILER* TWA 6000KG/H DI PT X

Antoni Apta Nugraha Darawia^{1*}, Ayende¹

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

*E-mail: antonydarawia239@gmail.com

ABSTRAK

PT. X memiliki kilang yang merupakan tempat untuk mengolah minyak mentah menjadi minyak yang dapat digunakan oleh berbagai mesin sesuai dengan jenis bahan bakarnya. Untuk menjaga system produksi dan kualitas nilai kalor bahan bakar di PT. X, dibutuhkan unit *Boiler* untuk menambahkan dan menjaga nilai kalor bahan bakar yang di produksi. *Boiler* merupakan bejana tekan yang digunakan untuk menghasilkan uap. *Boiler* di PT. X menggunakan *Feed Water* sebagai fluida yang dikonversi menjadi uap. Untuk menjaga agar *Boiler* bisa memberikan nilai kalor yang sesuai, dibutuhkan perawatan dan dilakukan evaluasi unjuk kerja pada *boiler*. *Boiler* beroperasi pada saat minyak mengalami penurunan temperatur di proses pemisahan fraksi fluida, dan pada saat membersihkan perpipaan dari fluida yang tertinggal. Dengan adanya unit *Boiler* dapat membuat kilang menjadi terawat dan efisien dalam proses produksi minyak jadi. Evaluasi unjuk kerja dari boiler terdiri atas dua metode, yaitu efisiensi secara langsung dan tidak langsung. Efisiensi dengan metode langsung unjuk kerja boiler menunjukkan angka 81.83% dan Efisiensi dengan metode tidak langsung unjuk kerja boiler menunjukkan angka 81.18%. dengan hasil efisiensi yang telah dilaksanakan, diketahui bahwa kinerja dari boiler masih diatas batas kelayakan peralatan dan masih bisa bekerja dengan baik serta mengetahui perbedaan efisiensi antara kedua metode tersebut.

Kata kunci: Boiler, evaluasi, kalor, efisiensi

1. PENDAHULUAN

PT. X memiliki Kilang yang merupakan tempat untuk mengolah minyak mentah menjadi minyak yang dapat digunakan oleh berbagai mesin sesuai dengan jenis bahan bakarnya. Untuk menjaga system produksi dan kualitas nilai kalor bahan bakar di PT. X, dibutuhkan unit *Boiler* untuk meningkatkan dan menjaga nilai kalor bahan bakar yang di produksi. Boiler merupakan peralatan yang sangat diperlukan di setiap kilang minyak dan gas. *Boiler* di PT. X menggunakan *Feed Water* sebagai fluida yang diubah menjadi uap.

Boiler adalah suatu bejana tertutup dan terbuat dari baja yang digunakan untuk menghasilkan uap bertekanan (*steam*).[1] Tugas boiler adalah mengangkut panas ke air se-efektif mungkin setelah energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi panas di dalam tungku. Oleh karena itu, tujuan utama boiler adalah menghasilkan uap dengan menyerap panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar pada tekanan di atas atmosfer.[2]

Boiler merupakan salah satu peralatan yang sering mengalami permasalahan. Maka dari itu, diperlukan pemeliharaan yang ketat. Kegiatan tersebut menjaga performa Boiler tersebut sesuai dengan kinerjanya. [3] Dengan menjaga produktivitas *Boiler* dalam menopang kegiatan distribusi dan produksi minyak jadi di PT. X, maka dibutuhkan *maintenance* atau pemeliharaan terhadap *equipment* secara rutin untuk menjaga kehandalan dan ketersediaan dari *Boiler*. Untuk mengetahui kondisi dari *Boiler*, maka diperlukan evaluasi kinerjanya. Untuk melaksanakan evaluasi unjuk kerja terhadap *Boiler*, dibutuhkan Data Parameter operasional yang berasal dari *Boiler* pada saat beroperasi. Data Parameter merupakan Data dasar yang didapatkan dari lapangan kerja secara ideal dan aktual, sehingga dapat digunakan untuk mengetahui efisiensi

dari Boiler tersebut. Data aktual dari Boiler bisa didapatkan oleh instrumentasi yang dipasang oleh unit utilitasnya seperti Pressure Gauge, Thermometer, Water level Gauge, berbagai macam jenis Valve dan lain sebagainya. [4] Dengan melakukan pengoperasian data pada boiler, operator dapat melakukan Kesimpulan terhadap Alat yang telah dilaksanakan suatu Analisa dan dapat dijadikan acuan pada saat dilakukan *maintenance*.

Dari Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kinerja boiler yang telah bekerja selama alat tersebut dihidupkan, dan bisa menjadikan indikasi untuk melakukan *maintenance* apabila terjadi kekurangan batas layak operasi pada boiler. Serta untuk mengetahui perbedaan dari perhitungan efisiensi boiler secara langsung dengan efisiensi boiler secara tidak langsung.

2. METODE

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penulis melakukan observasi di Perusahaan PT. X yang terlibat dalam sektor energi, khususnya minyak dan gas dan penulis melakukan penelitian selama 1 bulan pada tanggal 1 maret 2022 – 29 maret 2023. Selama 1 bulan penulis telah melakukan orientasi lapangan, pengumpulan data, mengolah data yang telah didapatkan, konsultasi terhadap pembimbing lapangan dan dosen pembimbing dalam membuat suatu laporan.

B. Subyek Penelitian

Subyek yang digunakan adalah *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h dengan spesifikasi seperti Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi dari Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h

<i>Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h</i>		
No.	Deskripsi	Spesifikasi
1.	<i>Model</i>	<i>Horizontal-Wet Back System</i>
2.	<i>Evaporation Cap.</i>	6000 Kg/H
3.	<i>Design Pressure</i>	3.234.000Kcal/H
4.	<i>Max. working press</i>	10 Kg/cm ²
5.	<i>Superheated Steam Temperature</i>	<i>Minimum 200⁰C – at P = 4 Kg/cm²</i>
6.	<i>Fuel</i>	<i>Heavy Oil Fuel</i>
7.	<i>Burner Firing Rate</i>	77-460 Kg/H (Min – Max)
8.	<i>Fuel Consumption</i>	396 Kh/H – <i>load factor</i> 100%
9.	<i>Boiler Efficiency</i>	85%
10.	<i>Material Tube Plate</i>	SB 410/DIN 17155 H II ASTM – A 516 – Gr.70

C. Data Penelitian

Pengambilan data sebagai bentuk penelitian yang didapatkan dari studi literatur terkait data pengamatan terhadap kondisi data operasi dari *Boiler*. Tabel 2 berikut merupakan hasil data yang telah didapatkan.

Tabel 2 Data Fire Tube Boiler saat Bekerja

<i>Feedwater</i>				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Feedwater Temperature</i>	T _w	60	°C
2.	<i>Feedwater Pressure</i>	P _w	1	kg/cm ²
3.	<i>Enthalpy (60°C)</i>	h _w	60,033	kcal/kg
4.	<i>Specific Volume</i>	V _w	0,00102	m ³ /kg
5.	<i>Time operating</i>	t	24	hour

6.	<i>Feedwater consumption</i>	-	3824	m ³ /h
7.	<i>Total feedwater consumption</i>	W		
8.	<i>Total feedwater consumption with Excess air</i>	W _w	3760,08	kg/h
Steam Production				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Steam Temperature</i>	T _s	140	°C
2.	<i>Steam Pressure</i>	P _s	4	kg/cm ²
3.	<i>Total steam production</i>	W _s	3256	kg/h
4.	<i>Superheated steam Enthalpy</i>	h _s	653,322	kcal/kg
2.	<i>Higher Heating Value</i>	HHV	11248,17	kcal/kg
Blowdown				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Blowdown Temperature</i>	W _{BD}	95	°C
2.	<i>Blowdown Pressure</i>	T _{BD}	4	kg/cm ²
3.	<i>Blowdown Enthalpy</i>	P _{BD}	95,146	kcal/kg
4.	<i>Total blowdown weight</i>	h _{BD}	504,0787	kg/h
Fuel Consumption				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Fuel Temperature</i>	T _f	72	°C
2.	<i>Fuel Pressure</i>	P _f	14	kg/cm ²
3.	<i>Water content ratio in fuel</i>	M _f	0,003	kg
	<i>Water content in fuel</i>	W	0.3	%
4.	<i>Specific Gravity</i>	SG	0,9182	kg/l
5.	<i>Fuel Usage</i>	-	5486	liter/day
6.	<i>Total Fuel Consumption</i>	W _f	209,885	kg/h
7.	<i>Specific Heat of Fuel</i>	C _p _f	0,48	kcal/kg °C
8.	<i>Oxygen requirement for perfect fuel oil combustion</i>	W _o	691,31	kg/h
9.	<i>Theoretical air requirement</i>	W _a	3004,88	kg/h
10.	<i>Actual air requirement</i>	W _A	3665,96	kg/h
Gas Input Data				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Gas Temperature</i>	T _{fg}	190	°C
2.	<i>Gas Enthalpy</i>	h _{sup}	655,702	kcal/kg
3.	<i>Dry gas produced from combustion.</i>	W _{fg}	2979,12	kg/h
Air Inlet				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	<i>Air Temperature</i>	T _a	30	°C
2.	<i>Moisture Ratio</i>	M _a	0,013	kg
3.	<i>Specific heat of air</i>	C _p _a	0,24	kcal/kg °C

Untuk *Higher Heating Value* (HHV) sendiri berasal dari bahan bakar untuk boiler yang sudah dilaksanakan pengujian berupa perhitungan komposisi kimia. Bahan bakar yang digunakan *Boiler* adalah *Heavy Fuel Oil* (HFO). Untuk mendapatkan hasil Kandungan unsur kimia dari Bahan Bakar *Boiler*, maka diperlukan Nilai dari °API. Rumus dari °API Dijelaskan pada bagian pengolahan data. Setelah mendapatkan nilai °API, hasil tersebut akan mendapatkan Komposisi seperti Tabel 3 berikut.

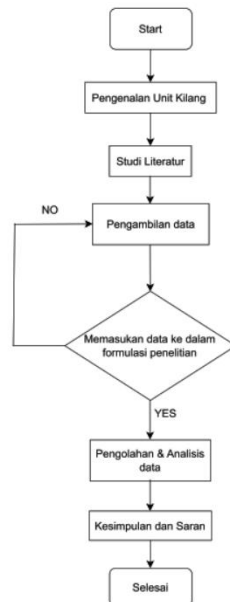
Tabel 3 Komposisi Bahan Bakar [2]

Kandungan Bahan Bakar	
No.	Presentase Kandungan
1.	<i>Carbon (C)</i> 86,2%
2.	<i>Hydrogen (H₂)</i> 12,39%
3.	<i>Sulphur (S)</i> 0,39%
4.	<i>Oxygen (O₂)</i> 0,37%

5.	Nitrogen (N_2)	0,12%
6.	Water (H_2O)	0,43%
7.	Ash	0,1%
TOTAL		100%

D. Metode Kerja

Gambar 1 berikut merupakan langkah kerja yang dilakukan pada saat melaksanakan kegiatan penelitian.



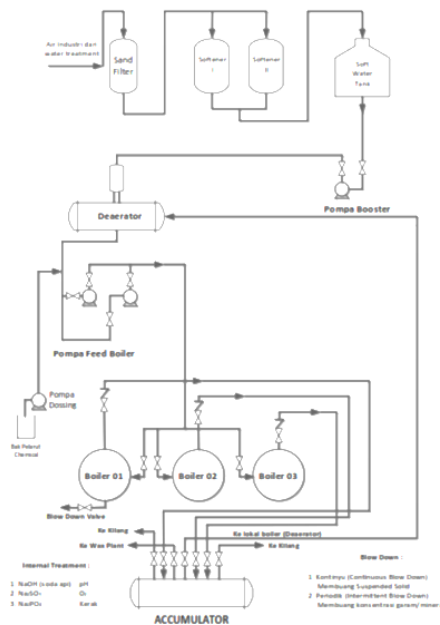
Gambar 1 Metode kerja

E. Pengolahan Data

Berikut merupakan pengolahan data pada saat melaksanakan kegiatan penelitian.

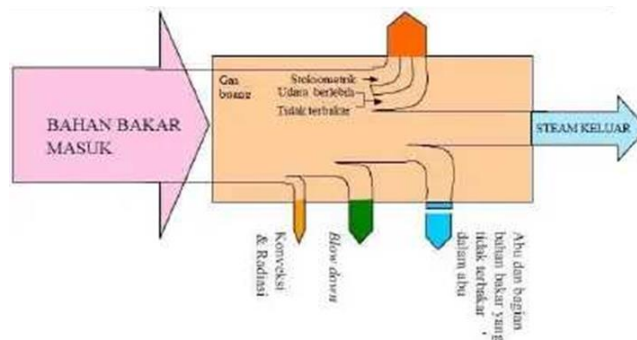
a) Deskripsi Umum

Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h digunakan sebagai pemanas minyak dan membersihkan saluran *piping* dengan memanfaatkan *feedwater* menjadi uap. Sebelum menjadi uap, *feedwater* akan disalurkan ke dalam sistem filtrasi yang berfungsi untuk menyaring unsur yang dapat mengurangi efisiensi dari *boiler*. Sistem filtrasi terdiri dari 3 peralatan, peralatan pertama adalah *Sand filter* yang Dimana peralatan tersebut akan memisahkan fluida air dari kotoran yang Bersama fluida *feedwater*. [5] selanjutnya menuju ke *softener* untuk menghilangkan kandungan garam mineral dari *feedwater*. Untuk proses jalur filtrasi terakhir adalah *Deaerator* yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan O_2 pada fluida yang digunakan untuk air umpan *Boiler*. [6] Setelah melewati sistem filtrasi, *Feedwater* akan menuju ke *Boiler*. Pada saat didalam *boiler*, *Burner* akan memberikan panas yang dapat merubah *Feedwater* menjadi uap yang bisa berguna untuk saluran perpipaan. Untuk menyalurkan ke area yang akan dipanaskan dan dibersihkan, digunakan *Accumulator* yang akan mengatur aliran uap menuju ke tempat tersebut. Berikut merupakan diagram alir dari *Boiler*.



Gambar 2 Diagram Alir unit Boiler

Pengolahan data digunakan untuk menentukan Evaluasi unjuk kerja yang dihasilkan oleh Boiler. Efisiensi dari boiler bisa dilihat pada Diagram Sankey yang digunakan untuk menunjukkan efisiensi dari mesin uap. [7] Gambar 2 berikut adalah diagram Sankey dari boiler.



Gambar 2 Diagram Sankey Boiler

b) Menentukan Kalor yang dihasilkan oleh Boiler

Dengan mengetahui kalor yang dihasilkan, formulasi dari efisiensi Boiler bisa didapatkan.

1. Menghitung °API

Untuk membutuhkan Komposisi yang berada pada Kandungan dari Bahan Bakar Boiler, maka diperlukan untuk menghitung °API yang ditentukan oleh spesifik gravitasi Bahan Bakar. °API merupakan Ukuran yang digunakan untuk membandingkan densitas cairan Petroleum dan Komposisi kualitas minyak. Berikut merupakan °API dari bahan bakar Boiler.[2]

$$°API = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \tag{1}$$

2. Direct Method Boiler Efficiency

Cara yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler dengan menghitung besarnya *superheated steam* yang dihasilkan dibandingkan dengan panas hasil pembakaran dengan bahan bakar.

3. Menghitung Efisiensi Kalor menggunakan Metode Langsung (η_{boiler})

Metode secara langsung digunakan untuk menghitung efisiensi boiler dengan menghitung besarnya superheated steam yang dihasilkan dibandingkan dengan panas hasil pembakaran dengan bahan bakar. Berikut merupakan rumus yang digunakan untuk menentukan efisiensi kalor Boiler.[3]

$$\eta_{boiler} = \frac{W_s \times (h_s - h_w)}{W_f \times HHV} \times 100\% \quad (2)$$

4. *In-direct Method Boiler Efficiency*

Cara menghitung efisiensi boiler secara tidak langsung yaitu dengan menghitung besarnya panas yang tidak bermanfaat (*heat loss*). Metode ini sangat efektif digunakan dalam usaha untuk menemukan potensi penghematan energi boiler berdasarkan neraca panas.

5. Menghitung Panas hasil pembakaran bahan bakar (Q_p)

Perhitungan ini merupakan salah satu cara untuk menentukan panas masuk yang menggunakan jumlah bahan bakar dan nilai *Higher heating Value*.

Berikut merupakan rumus Panas pembakaran bahan.[4]

$$Q_p = W_F \times HHV \quad (3)$$

6. Menghitung Panas *sensible* bahan bakar. (Q_f)

Salah satu dari cara untuk menghitung panas yang masuk, dengan menggunakan kandungan air dalam bahan bakar, panas jenis dan total berat pemakaian bahan bakar.

Berikut merupakan rumus dari Panas *sensible* bahan bakar.[4]

$$Q_f = (1 - W) \times C_{PF} \times W_F \quad (4)$$

7. Menghitung Panas *sensible* air karena kelembapan bahan bakar. (Q_w)

Salah satu Panas masuk yang menggunakan kandungan air dalam bahan bakar, panas jenis, temperature serta total berat pemakaian bahan bakar. Berikut merupakan panas *sensible* air karena kelembapan bahan bakar.[4]

$$Q_w = W \times T_F \times C_{PF} \times W_F \quad (5)$$

8. Menghitung Panas *Sensible* udara pembakaran (Q_{Al})

Salah satu panas masuk yang menggunakan kebutuhan udara aktual, temperature udara dan panas jenis udara. Berikut merupakan hasil dari panas *sensible* udara pembakaran.[4]

$$Q_{Al} = W_A \times C_{Pa} \times T_a \quad (6)$$

9. Menghitung Panas *sensible* air karena kelembapan udara (Q_{ma})

Salah satu panas masuk yang menggunakan kebutuhan udara secara aktual, temperature udara, rasio kelembapan dan panas jenis dari udara. Berikut merupakan panas *sensible* air karena kelembapan udara.[4]

$$Q_{ma} = W_A \times M_a \times T_a \times C_{Pa} \quad (7)$$

10. Menghitung panas *sensible* air umpan (Q_{fw})

Salah satu panas masuk yang menggunakan Jumlah berat pemakaian air umpan dan entalpi air umpan. Berikut merupakan panas *sensible* air umpan.[4]

$$Q_{fw} = W_w \times h_w \quad (8)$$

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

Salah satu Panas keluar yang menggunakan Jumlah produksi uap dan entalpi uap panas lanjut. Berikut merupakan panas yang terbawa oleh hasil uap.[4]

$$Q'_s = W_s \times h_s \quad (9)$$

12. Panas yang terbawa oleh *blowdown* (Q'_{BD})

Salah satu panas keluar yang menggunakan jumlah berat dan entalpi dari *Blowdown*. Berikut merupakan panas yang terbawa oleh *Blowdown*.[4]

$$Q'_{BD} = W_{BD} \times h_{BD} \quad (10)$$

13. Panas yang terbawa oleh gas Asap (Q'_{fg})

Salah satu panas keluar yang menggunakan gas asap dan temperature gas pembakaran serta panas jenis udara. Berikut merupakan panas yang terbawa oleh gas Asap.[4]

$$Q'_{fg} = W_{fg} \times C_{pa} \times T_{fg} \quad (11)$$

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

Berikut merupakan rumus dari panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban bahan bakar.[4]

$$Q'_w = W \times M_f \times h_{SUP} \quad (12)$$

15. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hydrogen didalam bahan bakar (Q'_H)

Berikut merupakan rumus dari Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hidrogen.[4]

$$Q'_H = 9H_2 \times h_{SUP} \quad (13)$$

16. Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran (Q'_{ma})

Berikut merupakan rumus dari Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran.[4]

$$Q'_{ma} = W_A \times M_a \times h_{SUP} \quad (14)$$

17. Panas yang hilang melalui dinding ketel (Q_{WALL})

Panas tersebut terjadi karena selisih antara panas masuk dengan panas yang dikeluarkan. Berikut merupakan rumus dari Panas yang hilang melalui dinding ketel.[4]

$$Q'_{WALL} = (Q_P + Q_F + Q_W + Q_{AI} + Q_{MA} + Q_{FW}) - (Q'_S + Q'_{BD} + Q'_{FG} + Q'_W + Q'_H + Q'_{MA}) \tag{15}$$

18. Menghitung efisiensi boiler dengan metode tidak langsung (η_{Boiler})
 Berikut merupakan rumus dari Efisiensi boiler dengan metode tidak langsung.[4]

$$\eta_{Boiler} = \left(1 - \frac{(Q'_S + Q'_{BD} + Q'_{FG} + Q'_W + Q'_H + Q'_{MA})}{(Q_P + Q_F + Q_W + Q_{AI} + Q_{MA} + Q_{FW})} \right) \times 100\% \tag{16}$$

3. PEMBAHASAN

A. Hasil Perhitungan dari Evaluasi Unjuk Kerja Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h

Setelah melakukan pengolahan data dan perhitungan dengan menggunakan persamaan, Tabel 4 berikut merupakan hasil perhitungan dari Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h.

Tabel 4 hasil Perhitungan Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h

Perhitungan Pembakaran				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	°API	-	22,60	-
Perhitungan Efisiensi Boiler dengan metode langsung				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Efisiensi Boiler	η_{Boiler}	81,83	%
Perhitungan Panas Masuk				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Panas Hasil Pembakaran bahan bakar	Q_P	2360824.18	Kkal/jam
2.	Panas Sensible bahan bakar	Q_f	14	Kkal/jam
3.	Panas Sensible air Karena Kelembaban bahan bakar	Q_w	0,003	Kkal/jam
4.	Panas Sensible Udara Pembakaran	Q_{AI}	26394.88	Kkal/jam
5.	Panas sensible air karena kelembaban udara	Q_{ma}	343.13	Kkal/jam
6.	Panas sensible air umpan	Q_{fw}	225567.119	Kkal/jam
Perhitungan Panas Keluar				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Panas yang terbawa oleh hasil uap	Q'_s	2127216.43	Kkal/jam
2.	Panas yang terbawa oleh <i>blowdown</i>	Q'_{BD}	47928.81	Kkal/jam
3.	Panas yang terbawa oleh gas Asap	Q'_{fg}	135847.72	Kkal/jam
4.	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban bahan bakar	Q'_w	6.14	Kkal/jam
5.	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hidrogen didalam bahan bakar	Q'_H	159635.35	Kkal/jam
6.	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran	Q'_{ma}	32506.04	Kkal/jam
7.	Panas yang hilang melalui dinding ketel	Q'_{wall}	117242.46	Kkal/jam
Perhitungan Efisiensi Boiler dengan metode tidak langsung				
No.	Deskripsi	Simbol	Spesifikasi	Satuan
1.	Efisiensi Boiler	η_{Boiler}	81,18	%

Dari hasil perhitungan menggunakan kedua metode sebagai pembandingan, metode langsung memiliki hasil persentase yang tidak jauh beda dari Metode tidak langsung. Dengan nilai efisiensi pada batas 81 hingga 82 %, Fire Tube Boiler TWA 6000 kg/h dapat dikatakan masih

sangat layak beroperasi sesuai dengan fungsinya, karena masih berkurang 3 hingga 4% dari Data spesifikasinya yaitu sebesar 85% dan range dari boiler agar bisa beroperasi dengan baik adalah 70%-90%.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan evaluasi unjuk kerja dari *Fire Tube Boiler* TWA 6000 kg/h dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung (*direct method*) didapatkan sebesar 82%, sedangkan berdasarkan metode tidak langsung (*indirect method*) didapatkan efisiensi sebesar 81%.
2. Nilai efisiensi Boiler TWA 6000 KG/H di PT. X masih dalam batas layak operasi tidak harus dilaksanakan Repair maupun pengantian alat.
3. Perbedaan hasil efisiensi kedua metode dikarenakan untuk perhitungan efisiensi dengan metode langsung memiliki perhitungan yang simple, sedangkan pada perhitungan dengan metode tidak langsung terlihat variabel yang dihitung adalah hasil penjumlahan dari panas masuk dan keluar secara rumit.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Kohan, Anthony. 1997. "*Boiler Operator's Guide*". New York: McGraw-Hill.
- [2] Kern, D. Q. 1950. "*Process heat transfer (Vol. 5)*". New York: McGraw-Hill.
- [3] F. Ridhoan, Jufrizel, P. H. Weni. 2020. "Analisa sistem Instrumentasi dan keandalan Boiler dengan metode Fault tree Analysis (FTA) dan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)".
- [4] Purba, Jonas. 2016. "Perancangan boiler pipa api untuk perebusan bubur keledai pada industri tahu kapasitas uap jenuh 160 kg/jam". Jurnal Mahasiswa Teknik UPP.
- [5] M. Deni, M. Ali, M. Atiek. 2014. "Pengaruh ketebalan media dan rate filtrasi pada sand filter dalam menurunkan kekeruhan dan total Coliform". Jurnal Teknik Pomits. Vol. 3, No. 2.
- [6] A. H. Apolonius, N. I. W. Awang, W. Esther. 2015. "Identifikasi sistem temperatur air umpan Deaerator pada pembangkit listrik tenaga uap". Seminar Nasional instrumentasi, kontrol dan otomasi (SINKO).
- [7] Hendri, Suhengki, R. Panji. 2017. "Analisa efisiensi boiler dengan metode heat loss sebelum dan sesudah overhaul PT Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3". Jurnal Power Plant. Vol. 4, No. 4.
- [8] R.H. Adams, Guzman-Osorio. 2020. "*Alternative Method for determining API degrees of petroleum in contaminated soil by FTIR*". Egyptian Journal of petroleum. Vol. 29, No. 1.
- [9] H. Rana, Aniruddhasinh. 2019. "*Performance Analysis of Industrial Boiler*". IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development. Vol. 7, No. 01.
- [10] Y. Elfita, Askhabulyamin. 2014. "Perhitungan Efisiensi dan Konversi Dari Bahan Bakar Solar ke Gas Pada Boiler Ebara HKL 1800 KA". Rotasi. Vol. 14, No. 2.

Daftar Simbol

Q'_{ma}	=	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas karena kelembaban udara dalam pembakaran
Q'_{w}	=	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena kelembaban bahan bakar
Q'_h	=	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas uap karena adanya hydrogen didalam bahan bakar
Q'_{BD}	=	Panas yang terbawa oleh blowdown
W_w	=	Total pemakaian air umpan
Q'_{wall}	=	Panas yang hilang melalui dinding ketel
η_{Boiler}	=	efisiensi boiler
Q'_{fg}	=	Panas terbawa hasil uap
Q'_s	=	Panas sensible air umpan
W_f	=	Total Berat Pemakaian Bahan Bakar
t_s	=	Suhu Produksi Uap
P_s	=	Tekanan Produksi Uap
h_s	=	Enthalphy Produksi Uap

W_s	=	Jumlah Produksi Uap Produksi Uap
T_{BD}	=	Suhu <i>Blowdown</i>
P_{BD}	=	Tekanan <i>Blowdown</i>
h_{BD}	=	Enthalphy <i>Blowdown</i>
W_{BD}	=	Jumlah <i>Blowdown Blowdown</i>
T_a	=	Suhu udara masuk
C_{pa}	=	Panas Jenis udara masuk
M_A	=	Rasio Kelembaban
t_{fg}	=	Suhu Gas masuk
h_{sup}	=	Enthalphy Gas masuk
$^{\circ}API$	=	<i>Derajat American Petroleum Institute of gravity</i>
HHV	=	High Heating Value
W_o	=	Pembakaran sempurna
W_a	=	Kebutuhan Udara Teoritis
W_A	=	Kebutuhan Udara Sebenarnya
W_{FG}	=	Gas asap hasil Pembakaran
Q_p	=	Panas hasil pembakaran bahan bakar
Q_f	=	High Heating Value
Q_w	=	Panas sensible bahan bakar
Q_{al}	=	Panas sensible karena kelembapan bahan bakar
Q_{ma}	=	Panas sensible Udara Pembakaran
Q_{fw}	=	Panas sensible air karena kelembapan udara
SG	=	<i>Specific Gravity</i>