

ANALISIS EFISIENSI *BOILER* TIPE *CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB)* DENGAN METODE LANGSUNG DI PT XY

ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF *CIRCULATING FLUIDIZED BED (CFB)* TYPE *BOILER* USING THE DIRECT METHOD AT PT XY

Sulton Amna¹⁾, Anggi Wahyuningsi²⁾, Apriliansyah Putra³⁾

^{1,2)} Program Studi Teknik Pengolahan Migas Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

³⁾ PT Kilang Pertamina Internasional RU III, 30257, Indonesia

Corresponding Author E-mail: sulton@pap.ac.id, anggi_w@pap.ac.id dan apriliansyah.putra@pertamina.com

Abstract: Boiler or steam boiler is a closed vessel-shaped device used to produce steam. Boilers are designed to transfer heat from a combustion source to water which will later be used for steam. Calculation of boiler efficiency is very important, considering the boiler works 24 hours a day and 7 days a week. So that the calculation of boiler efficiency can be used as one of the parameters whether the boiler is still working optimally or not. The problem that occurs in boilers is when the boiler operates below working temperature, the boiler has a heat loss which greatly affects to boiler efficiency, so that the boiler is not optimal in producing the pressured steam to supply for the turbine. The method used in this analysis is the direct method, namely by focusing on heat loss to calculate boiler efficiency. The data taken to calculate the efficiency of the boiler is at 11, 12 and 13 June, this is done to see the efficiency of the boiler at certain times in order to obtain accurate data. The results obtained from the calculation that the boiler efficiency values at 01.00 WIB, 04.00 WIB and 07.00 WIB respectively were 62,59%, 65,73%, and 60,98%. This shows that the boiler at PT XY works less efficiently, due to the large amount of energy lost (heat loss) during operation.

Keywords: Efficiency of Boiler, Circulating Fluidized Bed Boiler, Direct Methode, Heat Loss.

Abstrak: Boiler atau ketel uap merupakan suatu alat berbentuk bejana tertutup yang digunakan untuk memproduksi uap (steam). Boiler dirancang untuk memindahkan panas dari suatu sumber pembakaran ke air untuk dimanfaatkan uapnya. Perhitungan efisiensi boiler menjadi hal yang sangat penting, mengingat boiler bekerja selama 24 jam sehari dan 7 hari dalam 1 minggu. Sehingga perhitungan efisiensi boiler dapat dijadikan salah satu parameter apakah boiler masih bekerja secara optimal atau tidak. Permasalahan yang sering terjadi pada boiler adalah pada saat boiler beroperasi dibawah temperatur kerja, boiler mengalami heat loss yang sangat berpengaruh terhadap efisiensi boiler, sehingga boiler tidak lagi optimal dalam menghasilkan uap bertekanan sebagai sumber energi untuk memutar turbin. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah dengan metode langsung (direct metode) yaitu dengan menitikberatkan pada kehilangan energi (heat loss) untuk menghitung efisiensi boiler. Data yang diambil untuk menghitung efisiensi boiler adalah pada tanggal 11, 12 dan 13 Juni, hal ini dilakukan untuk melihat efisiensi boiler di beberapa waktu tertentu agar diperoleh data yang akurat. Hasil yang didapat dari perhitungan bahwa nilai efisiensi boiler pada tanggal 11, 12 dan 13 Juni berturut-turut adalah 62,59 %, 65,73 %, dan 60,98 %. Hal ini menunjukkan bahwa boiler yang ada pada PT XY bekerja kurang efisien, dikarenakan besarnya energi yang hilang (heat loss) pada saat beroperasi.

Kata kunci: Efisiensi Boiler, Circulating Fluidized Bed Boiler, Metode Langsung, Kehilangan Panas.

1. PENDAHULUAN

Meningkatnya kebutuhan energi menyebabkan naiknya kapasitas tambahan daya di seluruh dunia khususnya PLTU. Salah satu peralatan yang paling penting dalam produksi uap adalah *boiler*. Seiring dengan semakin tingginya kebutuhan *steam*, maka perlu dipikirkan cara untuk menaikkan efisiensi pada *boiler*. Sistem *boiler* terdiri dari beberapa bagian, yaitu sistem bahan bakar, sistem uap

panas dan sistem *feed water*. Sistem bahan bakar merupakan seluruh sistem keperluan untuk memanaskan sebuah ketel uap sedangkan peralatan bahan bakar tergantung jenis bahan bakar tersebut. Sistem *feed water* (air umpan) merupakan sistem *boiler* yang menyuplai segala keperluan air ke dalam *drum boiler*. Sistem uap panas atau *steam* merupakan sistem yang menampung kebutuhan *steam* dan mengontrolnya sesuai

kebutuhan produksi, serta mengatur tekanan *steam* sesuai keperluan produksi (Marzuki dan Mursadin, 2019).

Boiler yang efisien merupakan hal yang paling mendasar agar operasi PLTU dapat diandalkan. Hasil analisis energi terhadap sistem pembangkit listrik dapat dikatakan bahwa *boiler* adalah salah satu faktor penyebab utama hilangnya energi yang sebenarnya. Hal ini disebabkan karena efisiensi *boiler* yang menurun karena adanya kehilangan kalor yang berlebihan pada saat proses (Suryo dan Siswanto, 2015). Efisiensi *boiler* adalah sebuah besaran yang menunjukkan hubungan antara suplai 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*). Pembakaran *boiler* dapat dikatakan efisien apabila tidak ada bahan bakar yang tersisa di ujung keluaran ruang bakar *boiler*, begitu pula dengan jumlah udara sisa (Sugihartono, 2020).

Peningkatan efisiensi *boiler* adalah upaya yang terus dilakukan untuk menghindari pemborosan di dalam penggunaan bahan bakar serta menekan biaya operasional. Kehilangan energi merupakan salah satu faktor penting yang berpengaruh terhadap identifikasi efisiensi pada *boiler* dengan menghitung perbandingan efisiensi mesin *boiler* menggunakan metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*) serta penambahan *economizer* untuk mendapatkan nilai efisiensi yang baik guna mengurangi *heat loses* pada kondisi operasi (Kharisma dan Budiman, 2020).

Boiler memiliki berbagai jenis, dan jenis yang paling banyak digunakan pada PLTU adalah jenis *Circulating Fluidized Bed* (CFB). *Circulating* artinya terjadinya sirkulasi batubara yang belum habis terbakar dari *furnace* ke *cyclone* kemudian ke *seal pot* dan kembali ke *furnace*. *Fluidized* artinya

penghambusan udara primer untuk menjaga material *bed* dan batubara tetap melayang di *furnace*. *Bed* yang artinya material berupa partikel-partikel kecil (pasir kuarsa) yang digunakan sebagai media awal transfer panas dari pembakaran *high speed diesel* (HSD) ke pembakaran batubara. Hal ini dilakukan untuk memanfaatkan panas yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang belum habis terbakar agar efisiensi meningkat (Basu, 2015).

Boiler adalah sebuah ketel uap yang tertutup serta panas pembakaran diteruskan ke air, sampai menjadi air yang beruap panas atau *steam*. Setelah itu, uap panas tersebut bertekanan, yang dimanfaatkan untuk suatu proses industri (Djokosetyardjo, 2003).

Tingkatan kemampuan kerja dari suatu alat dapat dikatakan sebagai efisiensi. Prestasi kerja atau tingkat untuk kerja *boiler* yang dapat dikatakan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan atau diserap oleh fluida kerja di dalam ketel dengan masukan energi kimia dari bahan bakar merupakan penjabaran dari efisiensi *boiler*. Pada prinsipnya efisiensi *boiler* berkisar antara 70% hingga 90% (Dewata, 2011).

2. TEORI DASAR

2.1 Proses Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang laju perpindahan panas diantara material/benda karena adanya perbedaan suhu (panas dan dingin). Perpindahan panas terjadi karena adanya perbedaan suhu. Panas akan mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah. Ilmu perpindahan panas sangat berguna sekali dalam merencanakan alat-alat penukar panas. Kegunaan itu antara lain adalah :

1. Untuk merencanakan alat-alat penukar panas (*heat exchanger*).
2. Untuk menghitung kebutuhan media pemanas / pendingin pada suatu *reboiler* atau kondensor dalam destilasi.
3. Untuk perhitungan *furnace* atau dapur yang menggunakan konsep perpindahan panas radiasi.

4. Untuk perancangan ketel uap atau *boiler*.
5. Untuk perancangan alat-alat penguap (*evaporator*).
6. Untuk perancangan reaktor kimia.

Peristiwa perpindahan panas sangat banyak dijumpai dalam industri, misalnya pemanfaatan panas yang terbawa hasil akhir ataupun hasil antara untuk memanaskan umpan yang akan masuk ke reaktor dalam sebuah alat penukar panas, perpindahan panas dari sebuah pipa uap ke udara, pembuangan panas pada sebuah pembangkit tenaga.

Perpindahan panas terjadi menurut tiga mekanisme, yaitu:

2.1.1 Perpindahan Panas Konduksi

Perpindahan panas konduksi adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat suhunya tinggi ke tempat suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Perpindahan panas secara konduksi tidak hanya terjadi pada padatan saja tetapi bisa juga terjadi pada cairan ataupun gas, hanya saja konduktivitas terbesar ada pada padatan.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konduksi adalah hukum Fourier. Hukum Fourier dinyatakan dengan:

$$q_k = - \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{q_k}{A} = k \left(- \frac{dT}{dx} \right)$$

Dimana:

- T = suhu (°C), (°F)
 x = jarak/tebal dinding (m), (ft)
 A = luas dinding (luas perpindahan panas) (m²), (ft²)
 k = konduktivitas termal (W/m.°C), (Btu/h.ft.°F)
 q_k = laju perpindahan panas konduksi (Watt), (Btu/h)
 $\frac{q_k}{A}$ = laju perpindahan panas per satuan luas (*heat flux*) (W/m²), (Btu/h)

2.1.2 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan panas konveksi adalah proses perpindahan panas dimana cairan atau gas yang suhunya tinggi mengalir ke tempat yang suhunya lebih rendah, memberikan panas pada permukaan yang suhunya lebih rendah.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Newton. Hukum Newton dinyatakan dengan:

$$q_c = h_c A (T_w - T_s)$$

$$\frac{q_c}{A} = h_c (T_w - T_s)$$

Dimana:

- T = suhu (°C), (°F)
 T_w = suhu air umpan (°C), (°F)
 T_s = suhu produksi uap (°C), (°F)
 A = luas permukaan (m²), (ft²)
 h_c = koefisien perpindahan panas konveksi (*convection heat transfer*) (W/m².°C), (Btu/h.ft².°F)
 q_c = laju perpindahan panas konveksi (Watt), (Btu/h)
 $\frac{q_c}{A}$ = laju perpindahan panas per satuan luas (*heat flux*) (W/m²), (Btu/h. ft²)

2.1.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran atau sinaran atau radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berlangsung elektromagnetik dengan panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi, perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung dalam ruangan hampa udara.

Persamaan dasar dari konsep perpindahan panas konveksi adalah hukum Stefan - Boltzman. Hukum Stefan - Boltzman dinyatakan dengan:

$$q_r = \varepsilon \sigma A T^4$$

Dimana:

- ε = emisivitas
 T = suhu absolut benda (K), (°R)
 A = luas permukaan (m²), (ft²)
 q_r = laju perpindahan panas radiasi (Watt), (Btu/h)
 σ = konstanta Stefan-Boltzman
 σ = 5,669 x 10⁻⁸ W/m².K⁴
 σ = 0,1713 x 10⁻⁸ Btu/h.ft².°R⁴

2.2 Jenis Panas

Panas adalah salah satu perubahan energy. Jika suatu zat menerima atau melepaskan panas, maka akan ada dua kemungkinan yang terjadi yang pertama

adalah terjadinya perubahan temperatur dari zat tersebut, dan yang kedua adalah terjadi perubahan fase atau wujud dari zat tersebut. Panas dapat dibedakan menjadi dua macam:

2.2.1 Panas Sensibel (*Sensible Heat*)

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, apabila suatu zat atau benda menerima panas atau melepas panas yang menyebabkan terjadinya perubahan temperatur pada benda tersebut tetapi tidak merubah wujudnya, maka disebut sebagai panas sensibel (*sensible heat*). Persamaan panas sensibel sebagai berikut:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

Dimana:

Q = energi kalor yang dilepas atau diterima suatu zat (Joule)

m = massa zat yang mengalami perubahan temperature (kg)

C_p = kalor jenis zat (J/kg/K)

ΔT = perubahan temperature yang terjadi (K)

2.2.2 Panas Laten (*Laten Heat*)

Jika suatu zat atau benda menerima atau melepaskan panas yang menyebabkan terjadinya perubahan wujud pada benda atau zat tersebut tetapi tidak menyebabkan perubahan pada temperaturnya, maka panas yang demikian disebut sebagai panas laten. Pada suatu zat terdapat dua macam kalor laten, yaitu panas laten peleburan atau pembekuan dan panas penguapan atau pengembunan. Panas laten suatu zat biasanya lebih besar dari kalor sensibelnya, hal ini karena diperlukan energi yang besar untuk merubah fasa suatu zat.

Secara umum panas laten yang digunakan untuk merubah fase suatu zat di rumuskan dengan:

$$L = \gamma \cdot L_B \cdot \frac{T}{T_B}$$

Dimana:

L = *heat vaporization at absolute temperature*

L_B = *heat of vaporization at absolute normal boiling point*

γ = *factor abtainet*

T = *temperature* ($^{\circ}\text{F}$)

T_B = *temperature boiling point* ($^{\circ}\text{F}$)

2.3 Steam

Steam adalah bahasa teknis dari uap air, yaitu fase gas dari air yang terbentuk ketika air mendidih. Untuk mengubah air dari fase *liquid* (cair) menjadi fase *steam* (gas) diperlukan energi panas untuk menaikkan temperatur air yang biasa disebut sebagai *sensible heat*. Energi panas yang diperoleh dari sumber panas dapat berupa pembakaran bahan bakar (padat, cair, gas), tenaga listrik energi panas bumi, dan gas panas sebagai sisa proses kimia serta tenaga nuklir. Pada tekanan atmosfer titik didih air adalah 100°C (212°F) melainkan temperatur uapnya yang mengalami peningkatan akibat penambahan panas digunakan untuk merubah fase air dari cair ke gas.

Steam atau uap air dihasilkan oleh pemanasan dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu *saturated steam* dan *superheated steam*. Dimana *boiler* yang dirancang ini merupakan *boiler* yang menghasilkan *saturated steam* dan *superheated steam* ini akan dibahas di bawah ini:

2.3.1 Saturated Steam

Saturated steam atau *steam* basah adalah *steam* yang dihasilkan dari proses pembuatan *steam* tingkat pertama di *boiler* dimana biasanya suhunya berkisar antara 150 sampai 300°C . *Saturated steam* ini juga masih banyak mengandung air sehingga mudah membentuk air kembali.

2.3.2 Superheated Steam

Superheated steam adalah *steam* yang dibuat dari *saturated steam* yang dipanaskan kembali dalam *boiler* sampai suhu $\pm 700^{\circ}\text{C}$. *Superheated steam* sangat kering, dapat dilihat apabila *steam* ini dialirkan pada sebuah benda maka benda tersebut tidak akan terdapat kandungan air lagi, berbeda dengan *saturated steam* yang apabila dialirkan pada sebuah benda, maka benda tersebut akan basah karena *saturated steam* ini masih mengandung banyak air.

2.4 Komponen Utama Boiler

Komponen utama *boiler* dapat dilihat pada gambar 2.1:

a. Ruang Pembakaran (*Furnace*)

Furnace merupakan ruang dapur tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar. Pada *furnace* biasanya terdapat pipa-pipa berisi air ketel yang menempel pada dinding dapur dan akan menerima panas dari hasil bahan bakar. Panas yang diterima oleh pipa air tersebut akan mengubah fasa air didalam pipa menjadi uap panas bertekanan yang nantinya akan digunakan untuk kebutuhan produksi maupun pembangkit.

b. Cyclone

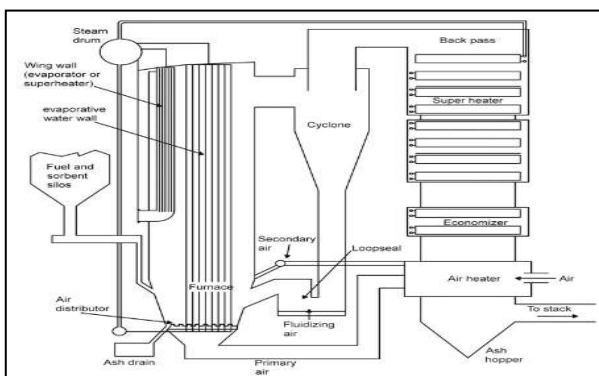
Cyclone berfungsi untuk memisahkan antara *ash* dan batubara yang belum terbakar sempurna. *Ash* akan disirkulasikan menuju *electrostatic precipitators* sedangkan batubara disirkulasi kembali ke dalam ruang bakar sehingga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran.

c. Backpass

Backpass berfungsi sebagai ruang pemanfaatan kalor atau panas yang terdapat di dalam *flue gas* dan terbuang melewati *stack*.

d. Economizer

Economizer berfungsi sebagai tempat pemanasan awal air pengisi (*feed water*) sebelum masuk ke dalam *boiler*. Umumnya *economizer* berada pada bagian setelah *evaporator* sehingga memiliki temperatur lebih kecil jika dibandingkan dengan bagian pemanas lainnya.



Gambar 2.1 Komponen Utama Boiler

Penggunaan *economizer* sebagai pemanfaatan panas gas buang akan meningkatkan nilai efisiensi *boiler* dengan pengurangan pada pemakaian bahan bakar. Dengan pengurangan pada konsumsi bahan bakar juga akan berdampak pada pengurangan

biaya penggunaan bahan bakar. Di samping dapat mengurangi biaya bahan bakar juga dapat menghemat biaya operasional yang lainnya, seperti pemakaian *chemical* untuk mengurangi O_2 dan N_2 dalam air umpan *boiler*. Karena dengan bertambahnya temperatur air akan mengurangi kadar O_2 dan N_2 yang terkandung dalam air umpan *boiler*. Suhu air umpan setelah melalui *economizer* adalah $\pm 465^\circ C$.

e. Steam Drum

Steam drum adalah alat yang berfungsi sebagai pemisah antara air dan *saturated steam*. Di dalam *steam drum* terjadi pemisahan antara *saturated steam* dan air umpan karena perbedaan fase. Air umpan yang berfase cair dialirkan ke *down comer* menuju pipa *water wall* yang terdapat pada dinding *furnace* untuk dipanaskan kembali hingga menjadi *saturated steam* yang telah terbentuk dialirkan menuju *steam drum* dan langsung dialirkan menuju *superheater* untuk pemanasan lebih lanjut.

f. Superheater

Superheater merupakan kumpulan pipa *boiler* yang terletak di jalan aliran gas panas hasil pembakaran dan berfungsi untuk mengubah *saturated steam* menjadi *superheated steam*. *Superheater* berada di atas *furnace* sehingga *flue gas* hasil pembakaran menyuplai panas lebih banyak ke *superheater*, *superheated steam* setelah melalui *superheater* adalah $\pm 465^\circ C$ dengan 5,4 MPa.

2.5 Efisiensi Boiler

Efisiensi *boiler* didefinisikan sebagai persentase energi panas bahan bakar (*heat input*) yang digunakan secara efektif pada *steam* yang dihasilkan atau dengan pengertian efisiensi lain, efisiensi pada *boiler* adalah persentasi kerja atau tingkat untuk kerja *boiler* yang didapatkan dari perbandingan antara energi yang dipindahkan ke fluida kerja atau diserap oleh fluida kerja di dalam *boiler* dengan masukan energi panas bahan bakar.

Energi yang didapat dari fluida kerja (air atau *steam*) dibandingkan dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar ketel uap. Metodologi ini dikenal juga sebagai metode *input-output* karena kenyataan bahwa metode ini hanya memerlukan keluaran (*output*), yaitu

steam dan masukan (*input*), yaitu bahan bakar untuk evaluasi efisiensi (Muin, 1998).

Berikut langkah-langkah perhitungan efisiensi boiler menggunakan metode langsung (*direct method*):

- Menghitung entalpi air umpan (h_w) yang didapat dari data temperatur air umpan (t_w).
- Menghitung entalpi steam (h_s) yang didapat dari data temperatur steam (t_s). Rumus interpolasi sebagai berikut:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}$$

$$y = \frac{(x - x_1)(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} + y_1$$

Dimana:

- x = tekanan / temperatur yang akan dicari entalpinya
 x_1 = tekanan / temperatur awal yang tersedia di tabel
 x_2 = tekanan / temperatur akhir yang tersedia di tabel
 y = hasil / nilai yang dicari
 y_1 = entalpi awal dari range nilai yang tersedia di table
 y_2 = entalpi akhir dari range nilai yang tersedia di tabel

- Menghitung efisiensi boiler dengan metode langsung.

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

Dimana:

- W_s = jumlah produksi steam (kg/jam)
 h_s = entalpi *superheated steam* (kcal/kg)
 h_w = entalpi air umpan pengisi ketel (kcal/kg)
 W_f = jumlah pemakaian bahan bakar (kg/jam)
 HHV = nilai kalor pembakaran tinggi (kcal/kg)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian penelitian kuantitatif. Penelitian kuantitatif merupakan penelitian yang bertujuan untuk menemukan pengetahuan dengan menggunakan data berupa angka, perhitungan,

tabulasi sebagai alat menganalisis keterangan mengenai apa yang ingin diketahui.

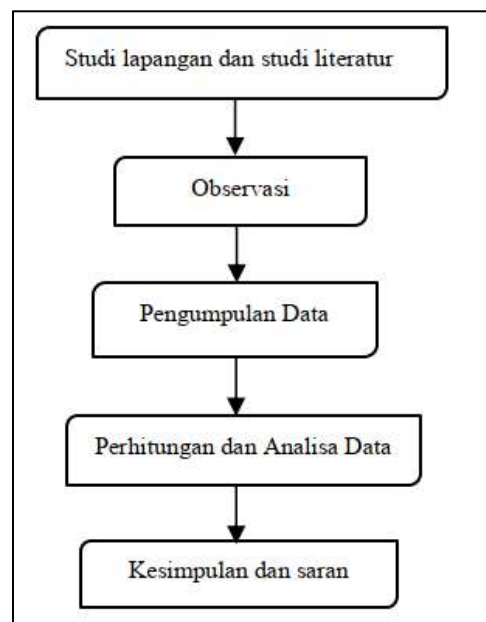
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT XY pada bulan Juni.

3.3 Metode Analisis

Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah dengan metode langsung (*direct method*), yaitu dengan menitikberatkan pada kehilangan energi (*heat loss*) untuk menghitung efisiensi boiler. Data yang diambil untuk menghitung efisiensi boiler adalah pada tanggal 11, 12 dan 13 Juni, agar diperoleh data yang akurat dan presisi.

Bagan alir metode analisis yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Metode Analisis

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan untuk menghitung efisiensi boiler di PT XY adalah *daily report boiler* pada tanggal 11, 12 dan 13 Juni. Tabel 4.1 berikut merupakan data operasional boiler yang berasal dari PT XY.

Tabel 4.1 Data Operasional Boiler

Waktu	T (°C)		W (kg/jam)		Ps bar	HHV kcal/kg
	tw	ts	Ws	Wf		
11 Juni	98,2	476,7	47.200	16.700	47,66	3.206
12 Juni	98,1	478,1	49.800	16.800	47,45	3.206
13 Juni	97,2	481,5	49.200	18.000	45,77	3.206

Dari data operasional *boiler* tersebut, dapat digunakan untuk mencari entalpi air umpan (h_w) dan entalpi *steam* yang dihasilkan (h_s).

Tabel 4.2 Entalpi Air Umpan (h_w) dan Entalpi *Steam* yang dihasilkan (h_s)

Waktu	h (kcal/kg)	
	h_w	h_s
11 Juni	98,34	808,26
12 Juni	98,24	809,11
13 Juni	97,33	811,52

Dari tabel 4.1 dan tabel 4.2 dihasilkan efisiensi boiler seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Efisiensi *Boiler*

Tanggal	Efisiensi (η_{Boiler}) (%)
11 Juni	62,59
12 Juni	65,73
13 Juni	60,98

Nilai efisiensi *boiler* pada tanggal 11, 12 dan 13 Juni didapatkan berturut-turut adalah 62,59%; 65,73%; dan 60,98 %. Nilai ini cukup jauh berada di bawah nilai efisiensi spesifikasi *boiler*, yaitu 86,5%. Hal ini dikarenakan banyaknya kalor yang lepas (*heat loss*) dikarenakan usia peralatan yang sudah tua.

5. KESIMPULAN

Dari pembahasan tersebut, maka dapat disimpulkan:

1. Nilai efisiensi tertinggi *boiler* tipe CFB di PT XY didapatkan sebesar 65,73%. Nilai ini cukup jauh di bawah nilai efisiensi spesifikasi *boiler* yang ditetapkan oleh perusahaan pembuat. Hal ini dapat terjadi dikarenakan usia peralatan yang sudah cukup tua, sehingga menurunkan efisiensi.
2. Boiler jenis *Circulating Fluidized Bed* (CFB) merupakan jenis boiler yang banyak digunakan dalam peralatan sistem pembangkit listrik, *boiler* jenis ini memiliki efisiensi spesifikasi yang cukup tinggi

karena panas hasil pembakaran bahan bakar dapat dimanfaatkan (disirkulasi) ke bagian-bagian tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

Asmudi. 2010. *Analisa Untuk Kerja Boiler Terhadap Penurunan Daya Pada PLTU PT Indonesia Power UP Perak*. Jurusan Teknik Perkapalan. Falkutas Teknologi Kelautan. ITS Surabaya.

Dewata, Is Putra. 2011. *Analisa Teknik Evaluasi Kinerja Boiler Type IHI FW SR Single Drum Akibat Kehilangan Panas Di PLTU PT PJB Unit Pembangkit Gersik*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Djokosetyardjo, I. R. M. J. 2003. *Ketel Uap*. Cetakan Kelima. Jakarta: Pradnya Paramita.

Hernawan, K.. 2020. *Peluang Penghematan Energi pada Boiler di PT Indo Bharat Rayon*. Jurnal Energi Vol. 10 No. 1, Politeknik Negeri Bandung.

Idris, M, dkk.. 2022. *Analisis Pengaruh Ukuran Batubara Terhadap Performa PLTU dengan Jenis Boiler Tipe Chain Grate*. JMEMME Vol. 6 No. 1, Universitas Medan Area.

Irawan, Doddy, dkk.. 2018. *Analisa Perbandingan Bahan Bakar Batubara Dengan Cangkang Sawit Terhadap Boiler CFB Di PT Indonesia Chemical Alumina*. Pontianak: Universitas Muhammadiyah Pontianak.

Kathikeyen, A.K. 2014. *Energy Performance Assesment of Boiler*. Brea of Energy Efficiency.

Kharisma, Aji Abdillah, dan Arif Budiman. 2020. *Perhitungan Efisiensi (Efficiency) Mesin Boiler Jenis Fire-Tube Menggunakan Metode Direct dan Indirect untuk Produk Butiran-Butiran Pelet*. Jakarta Barat : Universitas Gunadarma.

Marzuki, Imam, dan Aqli Mursadin. 2019. *Analisis Efisiensi Boiler dengan Metode Input-Output di PT JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk. Unit Banjarmasin.* Banjarbaru: Universitas Lampung Mangkurat.

Ningsih, Aisyah, dkk.. 2021. *Efisiensi Produksi Steam Ditinjau dari Rasio Udara Bahan Bakar Solar pada Cross Section Water Tube Boiler.* Jurnal Kinetika Vol. 12 No. 01. Politeknik Negeri Sriwijaya.

Nurhasanah, Roswati. 2015. *Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi dan Setelah Overhaul Terakhir di Unit 5 PLTU Suralaya.* Jurnal Power Plan. Sekolah Tinggi Teknik – PLN.

Prameswari, Windha Ayu. 2017. *Analisa Pembentukan Slagging dan Fouling Pembakaran Batubara pada Boiler B 0201B Pabrik 3 Unit UBB di PT Petrokimia Gresik.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pravitasari, Yolanda, dkk.. 2014. *Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung.* Pontianak: Universitas Tanjungpura.

Purba, Jhonas. 2015. *Perancangan Boiler Pipa Api untuk Perebusan Bubur Kedelai pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 kg/jam.* Riau: Universitas Pasir Pengaraian.

Raharjo, W. D., dan Karnowo. 2008. *Mesin Konversi Energi. Raharjo.* Semarang: Universitas Negeri Semarang Press.

Sugiharto, Agus. 2020. *Perhitungan Efisiensi Boiler Dengan Metode Secara Langsung Pada Boiler Pipa Api.* Cepu: PPSDM Migas.

Suryo U, Tony, dan Eko Siswanto. 2015. *Analisa Efisiensi Exergi Boiler Wanson III Pada Unit Kilang Di Pusat Pendidikan dan Pelatihan Minyak dan Gas Bumi (PUSDIKLAT MIGAS) Cepu.* Semarang: Universitas Diponegoro.