

Analisis efisiensi boiler CFB 2x60 MW PLTU PT X unit 2 dengan metode direct dan indirect

Panji Rasworo

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

Article Info

Article history

Received September 6, 2021

Revised September 25, 2022

Accepted September 29, 2022

Keywords

CFB Boiler;
Efficiency;
Direct Method;
Indirect Method

ABSTRACT

Steam Power Plant has one of the main components, namely the Boiler. Boiler is a machine that functions to convert water into steam. The boiler used by PLTU PT X uses a CFB type boiler. Heat loss is identified when the water is converted to steam in the boiler. And there is also a difference in the calorific value of coal between the design and the site testing, which will affect the boiler's efficiency. The purpose of this study is to determine the heat loss that can affect the performance of the boiler and get a more efficient boiler performance. The method used in this study is direct and indirect, using the steam property software or steam table and The Sugar Engineers Psychrometric calculation. The standard for calculating boiler efficiency used is ASME PTC 4.1 Power Test Code Steam Generator Units. The results of this study indicate that The direct method is 81.68% during the site test and 83.85% during the design while the indirect method is 82.43% during the site test and 84.53% so that the use during the Design conditions is more efficient than during the site test conditions and it is observed based on the two tests that the largest heat loss that can affect the performance of the boiler working efficiency is to convert water into steam, namely moisture in fuel. The results of the calculation and this method can be used as a reference for the evaluation of the performance of the next boiler efficiency.

This is an open access article under the [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



*Corresponding Author

Panji Rasworo
Jurusan Teknik Mesin,
Fakultas Teknik,
Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan No. 1, Kembangan, Jakarta Barat 11650, Indonesia
Email: rasworopanji1@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Energi listrik menjadi energi yang sangat dibutuhkan saat ini untuk mencukupi kebutuhan-kebutuhan manusia serta menjalankan aktivitasnya sepanjang waktu. Kenyataan ini tidak lepas dari kemajuan teknologi dan industri yang menyebabkan penggunaan listrik semakin meningkat. Di mana Pertumbuhan rasio elektrifikasi 89,5% dengan rata-rata pertumbuhan listrik sebelumnya 8,6%, maka proyeksi kebutuhan listrik di Indonesia akan tumbuh sebesar 8,3 % dalam 10 tahun ke depan. Pada suatu industri tentu sangat memerlukan

energi listrik dalam jumlah besar untuk kegiatan operasional, bahkan terkadang industri tersebut memiliki generator sendiri untuk menyuplai kebutuhan listrik.

Ada banyak jenis pembangkit listrik yang ada di Indonesia, salah satunya yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU merupakan suatu jenis pembangkit listrik terbanyak yang ada di Indonesia di mana menggunakan bahan bakar batu bara yang dikembangkan oleh pemerintah Indonesia untuk mengatasi kekurangan pasokan listrik dan untuk mengurangi ketergantungan BBM pada PLTD. Salah satu Pembangkit listrik Tenaga Uap di Indonesia adalah PLTU PT X. PLTU PT X merupakan Pembangkit Listrik Tenaga uap milik swasta yang memiliki dua unit pembangkit di mana masing-masing unit berkapasitas 60 MW dan mulai beroperasi pada tahun 2012. PLTU PT X ditugaskan untuk menyalurkan energi listrik sesuai kebutuhan salah satu Perusahaan Petrokimia di Serang, Banten. Pada pengoperasian PLTU PT X menggunakan *Boiler* tipe *Foster wheeler CFB* yang berkapasitas 55 Ton/hr dan menggunakan batu bara tipe *sub-bituminous coal*.

Pada permasalahan di PLTU PT X unit 2, berdasarkan data Tabel 1 menjelaskan bahwa nilai kalor batu bara yang digunakan berbeda yaitu Nilai kalor batu bara (*GCV*) pada saat *site test* (pengambilan data) lebih rendah jika dibandingkan dengan desain batu bara. Nilai kalor batu bara yang digunakan berbeda disebabkan oleh *Performance Test* yang dilakukan oleh PT.X untuk melihat kinerja efisiensi boiler tersebut. Ketika menggunakan nilai kalor batu bara baik itu keadaan *site test* maupun keadaan desain batu bara, Boiler bekerja mengubah air menjadi uap terjadinya kehilangan panas atau rugi-rugi energi sehingga perlu menganalisis dan membandingkan kerugian maupun kinerja efisiensi boiler dengan menggunakan metode *direct* dan *indirect*.

Nilai kalor batu bara yang digunakan PLTU PT X unit 2 ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1: Nilai Kalor Batu bara

<i>Parameter</i>	<i>Unit</i>	<i>Desain</i>	<i>Site Test</i>
<i>Ultimate Fuel Analysis</i>			
<i>Carbon</i>	%	45.08	35.42
<i>Hydrogen</i>	%	3.03	2.59
<i>Nitrogen</i>	%	0.62	1.48
<i>Sulphur</i>	%	0.26	0.47
<i>Moisture</i>	%	35.00	43.99
<i>Ash</i>	%	3.25	3.82
<i>Oxygen</i>	%	12.77	12.23
<i>GCV</i>	Kcal/kg	4166	3518

Menurut Rasworo dan Sahlan dalam penelitian tentang “Perhitungan Efisiensi *Boiler CFB* Menggunakan Metode *Output-Input* di Unit 3 PLTU Jeranjang, Lombok” yaitu pada beban komisioning 30 MW memiliki *Performance Efisiensi Boiler* sebesar 87% sedangkan pada beban Operasi 25 MW memiliki *Performance Efisiensi Boiler* sebesar 77,58% memiliki selisih perbedaan sebesar 9,42% atau setara 0,195.[1]

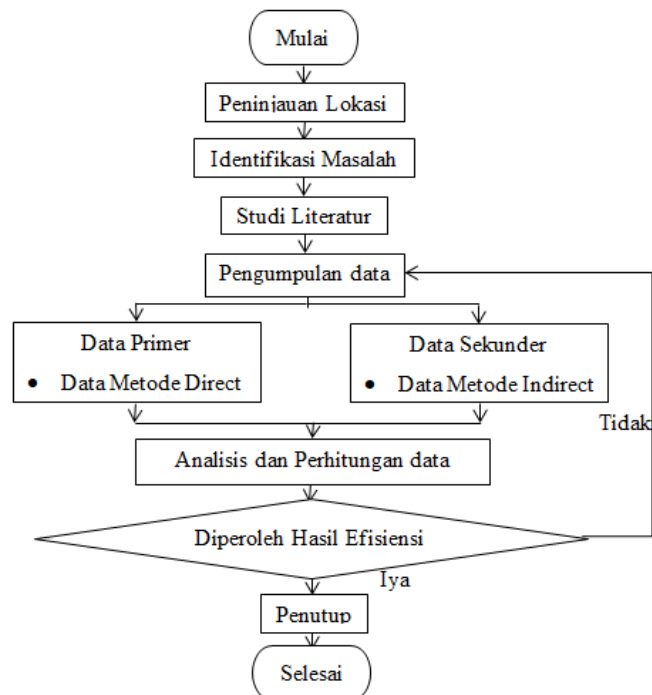
Menurut Patro dalam penelitian tentang “*Efficiency studies of combination tube boilers*” yaitu: bahwa kedua pengujian tersebut memberikan efisiensi yang optimal dan kerugian terbesar pada *boiler* tersebut yaitu kehilangan gas buang kering (*dry flue gas*), Kerugian akibat tidak terbakar pada *fly ash* sangat sedikit pada *boiler* tabung kombinasi, karena dinding membran yang dikelilingi. Juga diamati bahwa kehilangan panas akibat panas yang tidak terbakar dalam abu dasar memiliki jumlah yang cukup besar untuk kehilangan panas, dan tidak dapat diabaikan.[2]

Menurut Nuraini dalam penelitian tentang “*Efficiency and Boiler Parameters Effects in Sub-critical Boiler with Different Types of Sub-bituminous Coal*” yaitu bahwa batu bara *Sub-Bituminous* dengan nilai kalor (*CV*) 5013 kcal/kg memiliki kinerja yang mirip dengan batu bara yang ditetapkan oleh desain dengan nilai kalor 4852 kcal/kg dimana efisiensi *boiler* yang didapatkan oleh nilai kalor 4852 kcal/kg yaitu metode *direct* sebesar 66,61% dan metode *indirect* sebesar 73,78%. Sedangkan efisiensi *boiler* yang didapatkan oleh nilai kalor 5013 kcal/kg yaitu metode *direct* sebesar 67,82% dan metode *indirect* sebesar 75,68%.[3]

Dengan latarbelakang tersebut maka penelitian ini akan membahas tentang “Analisis Efisiensi *Boiler CFB* 2x60 MW PLTU PT X Unit 2 Dengan Metode *Direct* dan *Indirect*”. Pada penelitian ini akan menggunakan dua jenis metode dalam melakukan perhitungan efisiensi *boiler* yaitu Metode *Direct* atau dikenal dengan istilah Metode Langsung, dan Metode *Indirect* atau dikenal dengan istilah Metode Tidak Langsung.

2. METODE DAN BAHAN

Diagram alir proses penelitian dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1: Diagram Alir Proses Penelitian

2.1. Efisiensi Boiler

Efisiensi pada boiler adalah Suatu Tingkatan kemampuan kerja dari boiler yang didapatkan dari rasio dari keluaran panas (*output heat*) yang secara efektif digunakan untuk proses dan masukan panas yang disuplai oleh bahan bakar. Untuk tingkat efisiensi pada boiler atau ketel uap tingkat efisiensinya berkisar antara 70% hingga 90%. [4], [5]. Efisiensi boiler dapat dihitung dengan dua metode yaitu Metode *Direct* dan Metode *Indirect*.

2.1.1. Metode Direct

Metode *Direct* merupakan metode yang menggunakan energi yang terkandung dalam fluida kerja (*water and steam*) dibandingkan dengan energi yang dimasukkan bahan bakar batu bara kedalam boiler. Metode *Direct* digunakan untuk mengevaluasi efisiensi boiler atau ketel uap. [6], [7]

Perhitungan efisiensi boiler dengan metode *direct* dapat dilihat pada persamaan 1 dan 2 sebagai berikut: [1]

$$\eta = \frac{\text{OUTPUT}}{\text{INPUT}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\eta = \frac{m_{\text{uap}} \times (h_g - h_f)}{m_{\text{batubara}} \times \text{GCV}_{\text{batubara}}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana:

- m_{uap} : Jumlah Uap yang dihasilkan (kg/hr)
- $m_{\text{batu bara}}$: Jumlah bahan bakar yang digunakan (kg/hr)
- $\text{GCV}_{\text{batu bara}}$: Nilai Kalor spesifik bahan bakar (kcal/kg)
- h_g : *Enthalpy main steam* (kcal/kg)
- h_f : *Enthalpy feedwater* (kcal/kg)

2.1.2. Metode Indirect

Metode *Indirect* merupakan metode yang menggunakan perbedaan antara energi yang masuk (*energy input*) dengan kehilangan (*Losses-losses*) yang kemungkinan terjadi pada boiler. [6]

Dalam metode ini persentase kehilangan panas ditentukan dan dikurangi dari 100 dan oleh karena itu metode ini juga dikenal sebagai penentuan efisiensi boiler dengan estimasi kerugian. [8]

Perhitungan efisiensi boiler dengan metode *indirect* dapat dilihat pada persamaan 3 sebagai berikut: [6]

$$\eta = 100\% - L1 - L2 - L3 - L4 - L5 - L6 - L7 - L8 \quad (3)$$

Di mana :

- L1: Adanya energi panas di Gas Buang kering (*Dry Flue Gas*)
- L2: kerugian karena H_2 in *Fuel*
- L3: Kerugian karena uap air di bahan bakar (*Moisture in Fuel*)
- L4: Kerugian karena uap air di udara (*Moisture in Air*)
- L5: Kerugian karena Pembakaran tidak sempurna (*Incomplete Combustion*)
- L6: Kerugian karena Radiasi pada permukaan *Boiler*
- L7: Kerugian karena Carbon tidak terbakar dan terbawa di *Fly Ash*
- L8: Kerugian karena Carbon tidak terbakar dan terbawadi *Bottom Ash*

2.1.3. Tata Cara Perhitungan Kerugian

Sebelum menghitung *Heatloss*, rasio bahan bakar udara *stoikiometri* atau rasio bahan bakar udara teoritis dan udara berlebih yang dipasok ke *boiler* dihitung berdasarkan analisis bahan bakar. [9]

- **Udara teoretis yang dibutuhkan untuk pembakaran sempurna**

Untuk mencari m_{ta} dapat dihitung dengan persamaan 4 sebagai berikut:

$$m_{ta} = 11,495 C + 34,48 \left(H - \frac{O}{8} \right) - 4,31S \quad (4)$$

Di mana:

- C = Berat *Carbon* didalam bahan bakar (kg C per kg BB)
- H = Berat *Hidrogen* didalam bahan bakar (kg H per kg BB)
- O = Berat *Oksigen* didalam bahan bakar (kg O per kg BB)

- **%Dari kelebihan udara yang dipasok (*Excess Air*)**

Untuk mencari E_a dapat dihitung dengan persamaan 5 sebagai berikut:

$$Ea = \frac{O_2\%}{20,9 - O_2\%} \times 100\% \quad (5)$$

Di mana:

Excess air supplied dihitung dari *presence of O_2 in flue gas*

- **Massa aktual udara yang disuplai per kg bahan bakar (AAS)**

Untuk mencari AAS dapat dihitung dengan persamaan 6 sebagai berikut:

$$AAS = \left(1 + \frac{Ea}{100} \right) \times m_{ta} \quad (6)$$

Di mana:

- m_{ta} = Kebutuhan udara teoritis (kg/kg BB)
- Ea = Kelebihan udara (*Excess air*) yang dipasok (%)
- AAS = Massa udara *actual* yang disuplai per kg bahan bakar

- a. **Adanya energi panas di Gas Buang kering (*Dry Flue Gas*)**

Losses karena adanya energi panas di gas buang kering (*Dry Flue Gas*) dihitung dengan persamaan 7 sebagai berikut:

$$L_1 = \frac{m \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (7)$$

Untuk mencari m (massa gas buang kering) dapat dihitung dengan persamaan 8 sebagai berikut:

$$m = \left(C \times \frac{44}{12} \right) + N + \left(AAS \times \frac{77}{100} \right) + (AAS - m_{ta}) \times \frac{23}{100} \quad (8)$$

Di mana:

- m = massa dari *dry flue gas* (kg/kg batu bara)
- C = Berat Carbon didalam bahan bakar (kg C per kg BB)
- $GCV_{\text{batu bara}}$ = Nilai kalor batu bara (*Gross Calorie Value*) (kcal/kg)
- AAS = Massa udara *actual* yang disuplai per kg bahan bakar

m_{ta}	= Kebutuhan udara teoritis (kg/kg BB)
T_f	= Temperatur <i>flue gas</i> (°C)
T_g	= Temperatur <i>ambient</i> (°C)
C_p	= Panas spesifik <i>flue gas</i> (kcal/kg°C)
N	= Berat Nitrogen didalam bahan bakar (kg N per kg BB)

b. Kerugian karena H_2 in Fuel

Losses karena adanya penguapan air yang terbentuk dari kandungan *Hydrogen* pada bahan bakar (H_2 in Fuel) dihitung dengan persamaan 9 sebagai berikut:

$$L_2 = \frac{9 \times H_2 \times (584 + C_{ps}(T_f - T_a))}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (9)$$

Di mana:

H_2	= massa <i>hydrogen</i> dalam 1 kg batu bara
C_{ps}	= Panas spesifik dari <i>superheated steam</i> (kcal/kg°C)
T_f	= Temperatur <i>flue gas</i> (°C)
T_g	= Temperatur <i>ambient</i> (°C)
584	= Panas laten berhubungan dengan tekanan parsial uap air
$GCV_{\text{batu bara}}$	= Nilai kalor batu bara (<i>Gross Calorie Value</i>) (kcal/kg)

c. Kerugian karena uap air di bahan bakar (*Moisture in Fuel*)

Losses karena uap air di bahan bakar (*Moisture in Fuel*) dihitung dengan persamaan 10 sebagai berikut:

$$L_3 = \frac{M \times (584 + C_p(T_f - T_a))}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (10)$$

Di mana:

M	= massa <i>moisture</i> dalam 1 kg batu bara (<i>moisture in fuel</i>)
C_p	= Panas spesifik dari <i>superheated steam</i> (kcal/kg°C)
T_f	= Temperatur <i>flue gas</i> (°C)
T_g	= Temperatur <i>ambient</i> (°C)
584	= Panas laten berhubungan dengan tekanan parsial uap air
$GCV_{\text{batu bara}}$	= Nilai kalor batu bara (<i>Gross Calorie Value</i>) (kcal/kg)

d. Kerugian karena uap air di udara (*Moisture in Air*)

Losses karena uap air di udara (*Moisture in air*) dihitung dengan persamaan 11 sebagai berikut:

$$L_4 = \frac{AAS \times \text{humidity factor} \times C_p \times (T_f - T_a)}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (11)$$

Di mana:

AAS	= Massa udara <i>actual</i> yang disuplai dalam 1 kg bahan bakar
<i>Humidity Factor</i>	= Massa air yang terkandung dalam setiap kg udara kering.
C_p	= Panas spesifik dari <i>superheated steam</i> (kcal/kg°C)
T_f	= Temperatur <i>flue gas</i> (°C)
T_g	= Temperatur <i>ambient</i> (°C)
$GCV_{\text{batu bara}}$	= Nilai kalor batu bara (<i>Gross Calorie Value</i>) (kcal/kg)

e. Kerugian karena Pembakaran tidak sempurna (*Incomplete Combustion*)

Losses karena pembakaran tidak sempurna dihitung dengan persamaan 12 sebagai berikut:

$$L_5 = \frac{\%CO \times C}{\%CO \times \%CO_2} \times \frac{5744}{GCV \text{ of fuel}} \times 100 \quad (12)$$

Di mana:

L_5	= <i>Heat Loss due to partial conversion of C to CO</i>
CO	= Volume CO di <i>flue gas</i> (%)
CO ₂	= Volume CO ₂ aktual di <i>flue gas</i> (%)
C	= Kandungan karbon (kg/kg bahan bakar)
$GCV_{\text{batu bara}}$	= Nilai kalor batu bara (<i>Gross Calorie Value</i>) (kcal/kg)

f. Kerugian karena Radiasi pada permukaan Boiler

Untuk mendapatkan *Losses* karena adanya radiasi pada permukaan *boiler* maka dengan cara diestimasi menggunakan *ASME PTC 4.1 ABMA Chart*. [10]

g. Kerugian karena Carbon tidak terbakar dan terbawa di *Fly Ash*

Losses karena carbon tidak terbakar dan terbawa di *Fly Ash* dihitung dengan persamaan 13 sebagai berikut:

$$L_7 = \frac{\text{Total ash collected} \times \text{GCV of fly ash}}{\text{GCV of fuel}} \times 100 \quad (13)$$

Dimana:

GCV_{batu bara} = Nilai kalor batu bara (*Gross Calorie Value*) (kcal/kg)

GCV_{fly ash} = Nilai kalor *fly ash* (*Gross Calorie Value*) (kcal/kg)

Jumlah abu yang terkumpul (*Total ash collected*) per kg batu bara terbakar

h. Kerugian karena Carbon tidak terbakar dan terbawa di *Bottom Ash*

Losses karena carbon tidak terbakar dan terbawa di *Bottom Ash* dihitung dengan persamaan 14 sebagai berikut:

$$L_8 = \frac{\text{Total ash collected} \times \text{GCV of bottom ash}}{\text{GCV of fuel}} \times 100 \quad (14)$$

Dimana:

GCV_{batu bara} = Nilai kalor batu bara (*Gross Calorie Value*) (kcal/kg)

GCV_{bottom ash} = Nilai kalor *bottom ash* (*Gross Calorie Value*) (kcal/kg)

Jumlah abu yang terkumpul (*Total ash collected*) per kg batu bara terbakar.

2.2. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan untuk penelitian tersebut menggunakan data yang berasal dari *Engineer* (Teknisi) di *Engineering room* (ruangan Teknisi) Unit 2 PLTU PT X.

Alat yang digunakan sebagai pendukung untuk penelitian tersebut yaitu:

a. *Steam Property* atau *Steam Table*

Steam Property dan *Steam Table* merupakan suatu aplikasi sifat termodinamika air dan uap dengan berstandar internasional *IAPWS-IF97* yang berfungsi untuk mendapatkan nilai *Entalphy Steam*, *Entalphy Feedwater*, dan *Spesific heat of superheated steam* (Cp). *Steam Property* dan *Steam table* dapat diunduh di *Google play store*.

b. *The Sugar Engineers Psychrometric Calculation*

The Sugar Engineers Psychrometric Calculation merupakan suatu aplikasi yang mempelajari tentang karakteristik campuran udara dan uap air berdasarkan *ASHRAE Fundamentals Handbook* yang berfungsi untuk mendapatkan nilai *Humadity Ratio* Dimana *Humadity Ratio* merupakan rasio antara massa uap air dan massa udara kering yang terkandung dalam udara. [11]. *The Sugar Engineers Psychrometric Calculation* dapat digunakan dengan situs web *sugartech.co.za*.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Hasil Perhitungan Berdasarkan *Heat Loss*

Berikut merupakan Perbandingan kehilangan panas (*Heatloss*) antara Desain dan *Site Test* yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2: Perbandingan Hasil *Heat Loss* antara Desain dan *Site Test*

Parameter	Desain (4166 kcal/kg)	<i>Site test</i> (3518 kcal/kg)
<i>Losses</i> didalam <i>boiler</i>	%	%
<i>Dry Flue Gas</i>	5,0677	4,511
<i>Moisture</i> pada Pembakaran <i>Hidrogen</i>	4,3246	4,3514
<i>Moisture in fuel</i>	5,5505	8,2119
<i>Moisture in air</i>	0,2231	0,18832
Pembakaran tidak sempurna (<i>Carbon loss</i>)	0	0

<i>Radiation Loss</i>	0,3	0,3
<i>Total Losses</i>	15,4659	17,56262
<i>Boiler Efficiency</i>	84,53	82,43

Berikut dibawah ini merupakan penjelasan dari Tabel 2 Grafik *Heatloss* pada keadaan desain dan *site test* yaitu:

a. Kehilangan Panas Karena Gas Buang Kering (*Dry Flue Gas*)

Pada *Heatloss* (Kehilangan panas) karena *Dry Flue Gas* merupakan *Losses* akibat panas yang terbuang ke atmosfer disebabkan oleh *Dry Flue Gas*. Nilai *Heatloss* karena *Dry Flue Gas* pada saat kondisi *design* sebesar 5,0677% sedangkan pada saat kondisi *Site Test* sebesar 4,511% sehingga pada saat kondisi *Site Test* mengalami penurunan sebesar 0,5567%. Hal ini disebabkan oleh kotoran / *slugging* yang menempel pada *tube-tube boiler* sehingga dapat mengikat panas dan hasil pembakaran tersebut terbuang melalui *stack*. Semakin kecil *slugging* yang menempel maka semakin kecil suhu rata-rata *flue gas* (T_{fg}). Jadi Semakin kecil suhu rata-rata *flue gas* Semakin baik efisiensi. Teknis antisipasi atau cara pencegahannya yaitu dengan cara kegiatan *overhaul* pembersihan *tube* pada *boiler* menggunakan *water jet* untuk membersihkan *slugging* yang menempel dapat maningkatkan nilai efisiensi dan mengurangi *losses* akibat *Dry Flue Gas*.

b. Kehilangan Panas Karena *Moisture* dari Pembakaran *Hidrogen*

Kehilangan panas karena *hidrogen* pada bahan bakar atau *Moisture* dari Pembakaran *Hidrogen* merupakan kerugian ini disebabkan oleh pembakaran kandungan unsur *hidrogen* (H) dalam bahan bakar menghasilkan uap air. Dilihat dari Tabel 3.1 dan gambar 3.1 bahwa nilai kehilangan panas karena *moisture* dari pembakaran *hidrogen* pada saat kondisi *Desain* sebesar 4,3246% sedangkan pada saat kondisi *Site Test* (Pengambilan data) sebesar 4,3514 % sehingga pada saat kondisi *Site Test* mengalami kenaikan sedikit sebesar 0,0268 %. Berdasarkan hasil nilai kehilangan panas karena *moisture* dari pembakaran *hidrogen* antara pada saat kondisi desain dengan pada kondisi *Site Test* (Pengambilan data) maka penggunaan bahan bakar berbeda pada boiler perbedaannya tidak terlalu signifikan atau bisa dibilang pada saat kondisi *site test* hasilnya mendekati dengan hasil kondisi desain.

c. Kehilangan Panas Karena *Moisture in fuel*

Heatloss (kehilangan panas) karena *Moisture in Fuel* atau disebut juga uap air di bahan bakar merupakan kerugian kehilangan panas yang diakibatkan oleh penguapan uap air atau kelembaban didalam bahan bakar. Nilai *Heatloss* karena *moisture in fuel* pada saat kondisi desain sebesar 5,5505 % sedangkan pada saat kondisi *Site Test* sebesar 8,2119 % sehingga pada saat kondisi *Site Test* mengalami kenaikan sebesar 2,6614%. Hal ini disebabkan kandungan air dalam bahan bakar dapat diakibatkan oleh curah hujan yang mengenai batu bara saat pengiriman batu bara maupun saat penyimpanan batu bara pada *coal yard* yang tidak dilengkapi dengan atap pelindung. Cara pencegahan atau teknis antisipasi yaitu untuk mengurangi kandungan air pada batu bara dilakukan dengan membuat atap penyimpanan/penumpukan batu bara.

d. Kehilangan Panas Karena *Moisture in air*

Kehilangan panas karena *Moisture in air* merupakan kerugian panas akibat menguapnya uap air yang terkandung didalam udara karena udara yang masuk didalam boiler tidak berubah menjadi uap kering (*superheater steam*) dan mengandung uap air. Nilai kehilangan panas (*Heatloss*) karena *moisture in air* pada saat kondisi desain sebesar 0,2231% sedangkan pada saat kondisi *Site Test* sebesar 0,18832% sehingga pada saat kondisi *Site Test* mengalami penurunan sebesar 0,03478%. Hal ini disebabkan oleh ketika pada saat mesin baru dihidupkan, efisiensi cenderung turun namun tidak terlalu signifikan atau bisa dibilang pada saat kondisi *site test* hasilnya mendekati dengan hasil kondisi desain.

e. Kehilangan Panas Karena *Carbon Loss*

Heatloss karena *Carbon Loss* merupakan kerugian boiler yang disebabkan oleh kandungan Karbon Monoksida (CO) dalam gas buang. Untuk unit 2 PLTU PT.X berjalan sempurna dalam hal pembakaran. Dikarenakan kadar CO (Karbon monoksida) tidak terkandung dalam setiap jenis batu bara yang dipergunakan ataupun tidak ditemukan dalam *Performance Test* baik *Desain* maupun *Site test*. Sehingga tidak ada *heatloss* yang terjadi baik desain maupun *Site Test* dimana *heatloss* pada saat desain sebesar 0% sedangkan *heatloss* pada saat *site test* sebesar 0%.

f. Kehilangan Panas Karena *Radiation Loss*

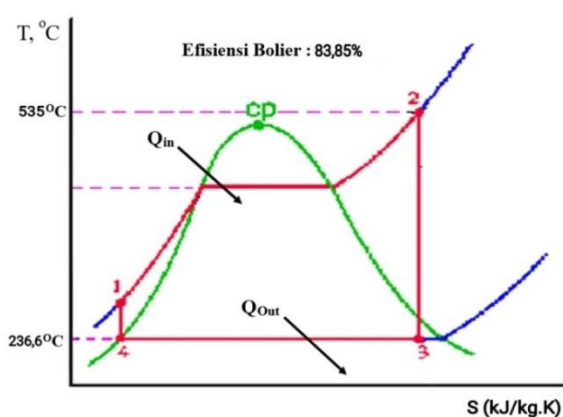
Kehilangan Panas karena *Radiation Loss* merupakan kerugian panas akibat radiasi pada permukaan boiler. Kerugian panas akibat radiasi dapat dihitung berdasarkan *ABMA Chart Standart Radiation Loss*. Dilihat dari Tabel 3.1 dan gambar 3.1 bahwa nilai kehilangan panas karena *Radiation Loss* pada saat kondisi Desain sebesar 0,3% sedangkan pada saat kondisi *Site Test* (Pengambilan data) sebesar 0,3% sebab diambil berdasarkan *ABMA Chart* yaitu 0,3% sesuai Pabrikan boiler unit 2 PLTU PT.X.

3.2 Hasil Perhitungan Berdasarkan Efisiensi

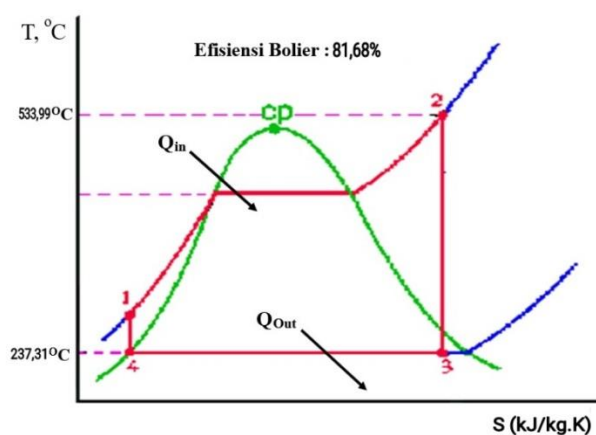
Hasil Efisiensi boiler CFB yang dihitung sesuai dengan dua metode yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3: Efisiensi Boiler CFB

Tipe metode	Desain (4166 kcal/kg)	Site Test (3518 kcal/kg)
Metode <i>Direct</i>	83,85 %	81,68%
Metode <i>Indirect</i>	84,53%	82,43%



Gambar 2: Diagram T-S Efisiensi Boiler pada saat desain



Gambar 3: Diagram T-S Efisiensi Boiler pada saat Site Test

Berdasarkan dilihat pada Tabel 3, Gambar 2, dan Gambar 3 bahwa Efisiensi Boiler CFB menggunakan metode *direct* pada saat desain yaitu 83,85 % dan pada saat *site test* yaitu 81,68 % artinya Penggunaan pada saat kondisi desain lebih efisien dibandingkan pada saat kondisi *site test* dikarenakan memiliki Efisiensi boiler yang tinggi daripada pada saat kondisi *site test* dengan selisih perbedaan 2,17 %, sedangkan untuk metode *Indirect* pada saat desain memiliki efisiensi boiler yaitu 84,52 % dan pada saat *site test* memiliki yaitu 82,43 % artinya *Heatloss* yang terjadi pada saat *design* lebih kecil dibandingkan pada saat *site test* yang memiliki *Heatloss* yang cukup tinggi dengan selisih perbedaan 2,09%. Berdasarkan dari hasil *heatloss* dan penurunan kinerja boiler antara pada saat *site test* dengan desain dimana terjadinya penurunan kinerja boiler yang tidak terlalu signifikan sehingga boiler di PLTU PT X unit 2 masih dalam kategori bagus karena pada saat *site test* masuk dalam Standar Operasional (SOP) atau mendekati standar nilai desain.

Faktor yang paling mempengaruhi penurunan efisiensi *boiler* pada saat *site test* maupun desain di unit 2 PLTU PT X yaitu kehilangan panas karena *moisture in fuel* disebabkan kandungan air dalam bahan bakar dapat diakibatkan oleh curah hujan yang mengenai batu bara saat pengiriman batu bara maupun saat penyimpanan batu bara pada *coal yard* yang tidak dilengkapi dengan atap pelindung.

Pada saat kondisi *site test* dengan desain memiliki perbedaan kualitas nilai kalor batu bara dan parameternya. Pada saat *site test* memiliki *heatloss* lebih besar dan efisiensi lebih kecil dikarenakan pada penurunan *performance* pada kondisi *site test* dipengaruhi beberapa faktor seperti: Penggunaan kualitas nilai kalor batu bara berbeda pemakaian mempengaruhi parameter kinerja efisiensi boiler, dan Umur Pembangkit sebab semakin tua umur suatu pembangkit maka akan mengalami penurunan *performance*. Pada saat *site test* memiliki parameter berbeda dengan desain dikarenakan kondisi peralatan yang tidak sesuai dengan desain mempengaruhi perbedaan parameter, faktor cuaca dikarenakan perubahan cuaca seperti *ambient temperatur* dan *relative humidity* dapat mempengaruhi efisiensi boiler, kualitas nilai kalor batu bara dikarenakan mempengaruhi parameter kinerja efisiensi boiler, dan Pola pengoperasiannya yang kurang tepat sehingga membuat perbedaan parameter (*Human error*).

Cara menghitung Efisiensi Boiler yaitu menggunakan *Standard ASME PTC 4.1 Power Test Code Steam Generating Units* dimana terdapat dua metode yaitu metode *direct* (metode langsung) dan metode *indirect* (metode tidak langsung). Kedua metode tersebut digunakan oleh PLTU PT X untuk mempermudah pekerjaan dalam membaca situasi dan kondisi kinerja efisiensi boiler unit 2 PLTU PT.X.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis efisiensi *boiler* pada saat desain dan *site test* didapatkan kesimpulan bahwa kehilangan panas yang dapat mempengaruhi penurunan kinerja efisiensi boiler bekerja mengubah air menjadi uap antara pada saat *site test* dengan desain yaitu kehilangan panas karena *moisture in fuel*. Kehilangan panas karena *moisture in fuel* merupakan kehilangan panas terbesar antara *site test* dan desain dimana *site test* memiliki kehilangan panas sebesar 8,2119%, sedangkan desain sebesar 5,5505%.

Dari hasil efisiensi *boiler* antara *Site test* dengan desain metode *direct* adalah 81,68% pada saat *site test* dan 83,85% pada saat desain sedangkan untuk metode *indirect* adalah 82,43% pada saat *site test* dan 84,53% pada saat desain. Efisiensi pada saat desain lebih tinggi dibandingkan *site test* dikarenakan penurunan *performance* pada kondisi *site test* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: umur pembangkit semakin tua maka akan mengalami penurunan *performance*, faktor cuaca, *human error*, kondisi peralatan yang tidak sesuai dengan desain mempengaruhi perbedaan parameter, dan kualitas nilai kalor batubara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Rasworo and S. Sahlan, "Perhitungan Efisiensi Boiler CFB menggunakan metode output-input unit 3 PLTU Jeranjang, Lombok." Sekolah Tinggi Teknik PLN, 2017.
- [2] B. Patro, "Efficiency studies of combination tube boilers," *Alexandria Eng. J.*, vol. 55, no. 1, pp. 193–202, 2016.
- [3] A. A. Nuraini, S. Salmi, and H. A. Aziz, "Efficiency and Boiler Parameters Effects in Sub-critical Boiler with Different Types of Sub-bituminous Coal," *Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Mech. Eng.*, vol. 44, no. 1, pp. 247–256, 2020.
- [4] S. N. T. S. Siriwardena M.B.D.K., "Optimization of an Industrial Boiler Operation," *J. Res. Technol. Eng.*, vol. 1, no. 3, pp. 126–134, 2020.
- [5] Q. Qamaruddin and M. I. Sikki, "Analisis Kebutuhan Bahan Bakar Terhadap Perubahan Tekanan Uap," *J. Ilm. Tek. Mesin Unisma "45" Bekasi*, vol. 4, no. 2, pp. 67–74, 2016.
- [6] Y. Kusuma, *Modul Pelatihan Perhitungan Boiler Efficiency*. Jakarta: Sinergy Mitra Utama, 2020.
- [7] Y. F. Wang *et al.*, "Fuzzy modeling of boiler efficiency in power plants," *Inf. Sci. (Ny.)*, vol. 542, no. July, pp. 391–405, 2020.
- [8] S. Pathi, Pallavi & mishra, Twinkle & padhi, "Energy and Exergy Analysis of CFBC Boilers," *Int. J. Recent Trends Eng. Res.*, vol. 02, no. 03, 2016.
- [9] S. Indexed and S. Sinha, "Study of Efficiency Improvement of Boiler With The Use Of Preheated Fuel," *Int. J. Mech. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 9, pp. 580–589, 2018.
- [10] Korea Plant Service & Engineering, "Appendix 1 Overall Plant Performance Test Report Unit 2 for Merak CFPP in Indonesia," 2014.
- [11] N. T. Hutomo, "Studi Eksperimen Pengaruh Diameter Perforated Plate (5 mm dan 10 mm) dan Kecepatan Udara Diatas Fluidisasi Terhadap Kinerja Coal Dryer." Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.