

## **EVALUASI EFISIENSI BOILER UNIT 2 PADA PT. PLN NUSANTARA POWER UP TANJUNG AWAR – AWAR**

Veiza Mutiara Aliffia Putri Artianti<sup>1</sup>, Anang Takwanto<sup>1</sup>, Abdul Latif<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

<sup>2</sup>PT PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-awar, Wadung, Jenu, Kabupaten Tuban 62352, Indonesia  
veizamtraputri@gmail.com ; [a.takwanto@gmail.com]

### **ABSTRAK**

Evaluasi ini mengkaji perhitungan efisiensi operasional Unit boiler 2 yang beroperasi di PT PLN Nusantara Power Unit Pelaksana Tanjung Awar-Awar, yang menggunakan bahan bakar batu bara dan serbuk kayu. Evaluasi kinerja boiler diperlukan, karena penggunaan boiler secara berkepanjangan dapat menimbulkan banyak permasalahan, seperti penurunan kemampuan pemanasan dan terjadinya *slagging*, yang akhirnya dapat menghambat kinerja boiler serta menurunkan efisiensinya. Akibatnya, evaluasi ini berusaha untuk menilai kinerja boiler. Pendekatan yang digunakan mencakup metode langsung dan metode tidak langsung, yang kedua metodenya merujuk pada standar yang telah ditetapkan oleh *American Society of Mechanical Engineers* melalui *Performance Test Codes* (ASME PTC 4.1). Evaluasi ini memperoleh data dan hasil yang menunjukkan laju aliran massa sebesar 1.143.066 kg/jam ke dalam boiler dan 1.132.080 kg/jam keluar. Selain itu, total *input* energi tercatat sebesar 2.120.643.259,10 kJ dan *output* energi sebesar 1.924.790.357,00 kJ. Berdasarkan analisis yang digunakan, metode langsung menghasilkan efisiensi sebesar 90,76%, sedangkan metode tidak langsung menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi sebesar 91,32%. Hasil ini menunjukkan bahwa efisiensi boiler dapat bervariasi tergantung pada metode evaluasi yang digunakan. Dengan demikian, menjaga kualitas bahan bakar serta kondisi operasional boiler sangat penting untuk mengoptimalkan efisiensinya. Evaluasi ini merekomendasikan pelaksanaan pemantauan dan pemeliharaan rutin guna meminimalkan kehilangan energi dan meningkatkan kinerja boiler secara keseluruhan.

**Kata kunci:** bahan bakar, efisiensi boiler, metode langsung, metode tidak langsung, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)

### **ABSTRACT**

*This evaluation examines the calculation of the operational efficiency of Boiler Unit 2 operating at PT PLN Nusantara Power Tanjung Awar-Awar Implementation Unit, which uses coal and sawdust fuel. The evaluation of boiler performance is important, because prolonged use of the boiler can cause many problems, such as a decrease in heating ability and slagging, which can ultimately hinder the performance of the boiler and reduce its efficiency. As a result, this evaluation seeks to assess the performance of the boiler. The approach used includes direct methods and indirect methods, both of which refer to the standards set by the American Society of Mechanical Engineers through the Performance Test Codes (ASME PTC 4.1). This evaluation obtained data and results showing a mass flow rate of 1,143,066 kg/jam into the boiler and 1,132,080 kg/jam out. In addition, the total energy input was recorded at 2,120,643,259.10 kJ and the energy output at 1,924,790,357.00 kJ. Based on the analysis used, the direct method resulted in an efficiency of 90.76%, while the indirect method showed a higher efficiency of 91.32%. These results show that boiler efficiency can vary depending on the evaluation method used. Thus, maintaining the fuel quality as well as boilers' operational conditions is essential to optimize its efficiency. The evaluation has recommended the implementation of regular monitoring and maintenance to minimize energy losses and improve overall boiler performance.*

**Keywords:** fuel, boiler thermal efficiency, direct method, indirect method, steam power generation plant (PLTU)

---

Corresponding author: Anang Takwanto

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: a.takwanto@gmail.com



## 1. PENDAHULUAN

Di Indonesia, pembangkit listrik yang berbasis uap (PLTU) berkedudukan sebagai penyedia energi listrik yang banyak digunakan. Contohnya ialah PT PLN Nusantara Power Unit Pelaksana (UP) Tanjung Awar-Awar, yang berlokasi di Tanjung Awar-Awar, Jenu, Tuban. Pembangkit ini mengoperasikan sistem pembakaran campuran batu bara dengan biomassa berupa serbuk gergaji untuk menghasilkan listrik. PT PLN Nusantara Power Unit Pelaksana (UP) Tanjung Awar-Awar yang memiliki kapasitas 2 x 350 MW serta pembangkit listrik ini termasuk kedalam perusahaan *sub-holding* PT PLN (Persero) yang membantu menindak lanjuti pemenuhan kebutuhan dalam program Pembangunan pembangkit yang berkapasitas 35.000 MW [1, 2]. Dalam prosesnya, boiler memainkan peran penting dalam sistem pembangkit listrik. Boiler merupakan bejana logam tertutup yang didesain untuk meningkatkan energi pada air untuk menghasilkan pemanasan [3]. Fungsi boiler pada PLTU adalah mengubah air umpan yang berasal dari air laut menjadi uap super panas atau air yang menguap (*steam*), yang kemudian dimanfaatkan untuk mengaktivasi putaran turbin sehingga dapat mengubah energi termal menjadi energi listrik [4].

Boiler yang digunakan untuk mengubah air umpan menjadi *steam* memiliki nilai efisiensi yang disebutkan sebagai rasio antara total panas yang digunakan untuk memanaskan air hingga membentuk uap dengan total panas yang didapatkan melalui pembakaran sumber energi [5]. Efisiensi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti laju alir massa, tekanan uap masuk dan suhu uap masuk, juga tekanan dan suhu uap keluar dari alat boiler [6]. Namun, untuk mencapai efisiensi operasional yang optimal dalam boiler, *input* energi yang sepadan dan substansial juga diperlukan, terutama selama fase awal mengubah air umpan menjadi uap. Akibatnya, perhitungan efisiensi boiler sangat dibutuhkan karena hasil evaluasi tersebut dapat berfungsi sebagai data dasar untuk manajemen operasional dan pemeliharaan boiler kedepannya.

Perhitungan pada evaluasi terdahulu telah menunjukkan bahwa efisiensi boiler pada PLTU dapat ditingkatkan dengan mengoptimalkan penggunaan bahan bakar dan mengurangi kehilangan panas menggunakan *economizer* [7]. Dalam perhitungan terdahulu, efisiensi boiler yang didapatkan menggunakan metode langsung adalah sebesar 76,92% dikarenakan tingginya kehilangan panas ( $Q$ ) pada boiler hingga mencapai 23,08%, penurunan ini berdasar perhitungan  $Q_{\text{batu bara}}$  yang dihasilkan pada proses internal sebesar 28.792.285.470 Kj/h dikarenakan adanya penurunan tekanan ( $P$ ) [8]. Efisiensi boiler umumnya berada pada kisaran 70% hingga 90% tergantung pada kondisi operasi yang digunakan [9]. Namun, evaluasi tersebut belum secara spesifik membahas tentang efisiensi boiler, dan pada evaluasi ini memiliki keterbaruan tentang efisiensi boiler yang digunakan pada pembangkit Tanjung Awar-awar yang memanfaatkan kombinasi batu bara dan serbuk gergaji sebagai bahan bakar utama.

Penelitian ini bertujuan untuk menghitung efisiensi boiler pada pembangkit listrik milik PT. PLN Nusantara Power UP Tanjung Awar-Awar menggunakan metode tidak langsung. Selain itu, juga bertujuan untuk membandingkan efisiensi boiler pada penggunaan metode langsung dan tidak langsung. Dengan demikian, evaluasi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada peningkatan efisiensi operasional PLTU dan mengurangi biaya produksi.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode evaluasi kali ini dilakukan dengan metode observasi kuantitatif yaitu, pengumpulan data melalui pengamatan di *Central Control Room* (CCR). Pengumpulan data yang dilakukan di *control room* untuk memperoleh data yang diperlukan seperti laju alir (*flow*), suhu (T), serta tekanan (P). Penentuan efisiensi pada boiler memiliki dua metode yang berbeda yaitu penentuan metode langsung maupun metode tidak langsung yang mengacu pada standar resmi yang diatur dalam *Performance Test Code* ASME PTC 4.1 oleh *American Society of Mechanical Engineers*.

Data pengamatan yang diperoleh untuk menghitung efisiensi boiler pada unit 2 pembangkit listrik di PT PLN Nusantara Power Unit Pelaksana (UP) Tanjung Awar-Awar bulan September – Oktober :

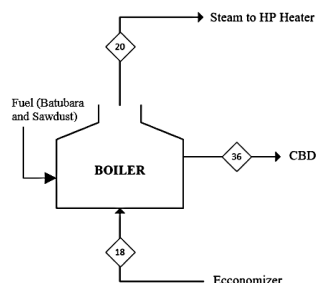
### a. Data Neraca Massa

**Tabel 1.** Data neraca massa boiler

Kategori	Parameter	Nilai (Ton/jam)
<i>Input</i>	Laju alir air dari <i>economizer</i>	1143,066
<i>Output</i>	Laju alir <i>steam to HP Turbine</i>	1132,08
	Laju alir dari CBD	10,986

### b. Data Neraca Panas

Untuk menunjukkan visualisasi total panas (kalor masuk dan keluar) pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Data bahan bakar (neraca panas)

Skema ini menunjukkan aliran bahan bakar yang masuk ( $Q_1$ ) dan *input* dari *economizer* ( $Q_2$ ) menuju ke boiler serta aliran keluar steam yang menuju ke IP turbin ( $Q_3$ ) serta *losses* yang menuju ke CBD *tank*.

#### 1. Data Bahan Bakar

**Tabel 2.** Data bahan bakar (neraca panas)

Parameter	Nilai	Satuan
Massa Batu Bara	196.000,00	kg/jam
Massa <i>Sawdust</i>	1.800,00	kg/jam
GCV Batu Bara	4.205,00	kJ/kg
GCV <i>Sawdust</i>	8.159,00	kJ/kg
Q Batu bara	824.180.000,00	kJ
Q <i>Sawdust</i>	14.686.200,00	kJ

## 2. Data Input Boiler from Economizer

**Tabel 3.** Data input boiler from economizer

Parameter	Nilai	Satuan
Laju alir air	1143,066	ton/jam
Tekanan air (P)	17,70	mPa
Suhu air (T)	257,40	°C
Enthalphy steam	1.121,35	kJ/kg

## 3. Data Output Steam to IP Turbine

**Tabel 4.** Data output steam to IP turbine

Parameter	Nilai	Satuan
Massa steam	1124,300	ton/jam
Pressure steam	17,70	mPa
Temperature steam	355,10	°C
Enthalphy steam	1.711,99	kJ/kg

## c. Total Ultimate Pada Bahan Bakar

**Tabel 5.** Total ultimate pada bahan bakar

Mixing Unit 2 PT 22 Oktober 2024		
Parameter		Mix
Flow Total DCS (%)	T/h / %	224,23
Flow BB per Mill	T/h	224,23
Carbon (Ar)	%wt	44,21
Hydrogen (Ar)	%wt	3,13
Oxygen (Ar)	%wt	12,51
Nitrogen (Ar)	%wt	0,90
Sulfur (Ar)	%wt	0,18
Total Moisture (Ar)	%wt	33,86
Ash Content (Ar)	%wt	5,39
Total Ultimate		100

Selanjutnya, Perhitungan neraca massa memberikan estimasi yang akurat atas keseluruhan jumlah material yang masuk, tersimpan, dan keluar dalam suatu sistem pada periode-periode tertentu.

Hal ini didasarkan pada hukum kekekalan massa yang menyatakan bahwa massa tidak bisa diciptakan ataupun dimusnahkan [10]. Maka, asas dasar perhitungan neraca massa ialah bahwa massa yang masuk akan sama dengan massa keluarnya [11]. Prinsip umum dari neraca massa melibatkan penyusunan beberapa persamaan yang saling independen, dengan jumlah persamaan-persamaan tersebut nantinya setara dengan total variabel massa yang belum diketahui [12].

$$MA + MB + MC = MD + ME \quad (1)$$

Kemudian dilanjutkan dengan neraca energi atau neraca panas merupakan suatu model matematis. Model matematis tersebut menjelaskan keterkaitan antara aliran energi masuk dan aliran energi keluar dari sistem tertentu yang berdasarkan waktu operasionalnya [13]. Energi *balance* berdasarkan hukum pertama Termodinamika, yaitu:

$$\text{Energi keluar} = \text{energi masuk} + \text{energi dihasilkan} - \text{energi terkonsumsi} - \text{energi terakumulasi} \quad (2)$$

Neraca panas berfungsi untuk mengidentifikasi kehilangan panas, baik *losses* yang dapat maupun tidak dapat dihindari. Tujuan utamanya adalah mengurangi kehilangan energi yang dapat dicegah dengan meningkatkan efisiensi boiler [14]. Kemudian, perbandingan antara energi panas aktual yang akan digunakan untuk energi pemanas air dan menghasilkan uap panas yang dihasilkan dari bahan bakar yang terbakar, hal ini dinyatakan sebagai efisiensi boiler [15]. Metode langsung (*Direct methode*) adalah metode yang menghitung efisiensi dengan membandingkan energi termal yang diserap oleh fluida kerja (air dan uap) dengan energi panas yang diperoleh dari pembakaran batu bara dalam boiler [16]. Perhitungan untuk efisiensi ( $\eta$ ) boiler menggunakan metode langsung seperti pada model matematis berikut 4 [17] dan 5 [18]:

$$Efisiensi (\eta) = \frac{\text{Output Energy}}{\text{Input Energy}} \times 100\% \quad (3)$$

$$Efisiensi (\eta) = \frac{m_{\text{uap}} \times (h_g - h_f)}{m_{\text{batu bara}} \times GCV_{\text{batu bara}}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

$m_{\text{uap}}$	= Jumlah Uap yang dihasilkan per jam (kg/jamr)
$m_{\text{batu bara}}$	= Total konsumsi bahan bakar terpakai (kg/jamr)
$GCV_{\text{Batu bara}}$	= Nilai Kalor spesifik batu bara (kcal/kg)
$h_g$	= <i>Main steam enthalpy</i> (kcal/kg)
$h_f$	= <i>Feedwater enthalpy</i> (kcal/kg)

Perhitungan efisiensi yang berikutnya adalah metode tidak langsung, merupakan metode yang menggunakan perbedaan energi yang masuk (*energy input*) serta kehilangan (*Losses-losses*) yang kemungkinan terjadi pada boiler [9]. Metode tidak langsung saat ini menggunakan acuan ASME PTC – 4.1 [17], dengan perhitungan Efisiensinya adalah [19]:

$$Efisiensi (\eta) = 100 - \text{Total Loses} \quad (5)$$

$$\eta_{\text{Boiler}} = 100 - (L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 + L_6 + L_7 + L_8) \quad (6)$$

Keterangan:

$\eta_{\text{Boiler}}$	= Boiler Efisiensi (%)
$L_1$	= <i>Dry Gas Losses</i>
$L_2$	= <i>Moisture in Fuel Losses</i>
$L_3$	= <i>Combustion of H<sub>2</sub> in fuel Losses</i>
$L_4$	= <i>Moisture in Air Losses</i>
$L_5$	= <i>Combustible in Refuse Losses</i>
$L_6$	= <i>Radiation Losses</i>

$L_7$  = *Unmeasured Losses*

$L_8$  = *Heat Credit Losses*

Berikut ini adalah tahapan perhitungan efisiensi boiler metode tak langsung [17] :

1. Menghitung kebutuhan udara teoritis (TA)

$$\text{Theoritic Air} = \frac{(11,6 \times C) + \left(34,8 \times \left(H_2 - \frac{O_2}{8}\right)\right) + (4,35 \times S)}{100} \quad (7)$$

Keterangan:

C = Karbon Terkandung (%)

O<sub>2</sub> = Oksigen Terkandung (%)

H<sub>2</sub> = Kandungan Hidrogen (%)

S = Kandungan Sulfur (%)

2. Menghitung kelebihan udara yang disuplai (EA)

$$\text{Excess Air (\%)} = 100 \times \left( \frac{O_2 - 0,5 CO}{(0,2682 N_2 - [O_2 - 0,5 CO])} \right) \quad (8)$$

Keterangan:

CO = Kandungan CO %

O<sub>2</sub> = Kandungan O<sub>2</sub> %

N<sub>2</sub> = Kandungan N<sub>2</sub> %

3. Menghitung total massa aktual udara suplai bahan bakar per kg(AAS)

$$\text{AAS} = \left( \frac{1 + \text{Excess Air}}{100} \right) \times \text{Udara Teoritis} \quad (9)$$

4. Menghitung nilai rugi yang terjadi pada boiler (*Losses*)

a. *Dry Gas Losses* (L1)

$$L1 = \frac{Wg'_{14} \times Cp \times (Tg_{15nl} - Ta_8) \times 100}{HHV} \quad (10)$$

Keterangan:

Cp = *Specific Heat* (Btu/lb. °F)

Wg'<sub>14</sub> = *Dry Gas Entering Air Heater* (lb/lb AF Fuel)

Tg<sub>15nl</sub> = *Exit Gas Temperature Adjusted for Leakage* (°F)

Ta<sub>8</sub> = *Test temperature of air for combustion* (°F)

HHV = *Higher Heating Value* (Btu/lb)

b. *Moisture in Fuel Losses* (L2)

$$L2 = \left( \frac{Mf}{100} \right) \times (Hv_{15} - Hw_8) \times \left( \frac{100}{HHV} \right) \quad (11)$$

Keterangan:

Mf = *Moisture in Fuel* (wt%)

$$Hv_{15} = \text{Vapour Enthalpy (Btu/lb)}$$

$$Hw_8 = \text{Saturated liquid Enthalpy (Btu/lb)}$$

c. *Combustion of H<sub>2</sub> in Fuel Losses (L3)*

$$L3 = 8,936 \times \left(\frac{H_2}{100}\right) \times (Hv_{15} - Hw_8) \times \left(\frac{100}{HHV}\right) \quad (12)$$

Keterangan:

$$H_2 = \text{Hydrogen in Fuel (\%wt)}$$

$$Hw_8 = \text{Enthalpy of Saturated liquid (Btu/lb)}$$

d. *Moisture in Air Losses (L4)*

$$L4 = Wm_a \times Wa' \times (Hv_{15} - Hw_8) \times \left(\frac{100}{HHV}\right) \quad (13)$$

Keterangan:

$$Wm_a = \text{Moisture in Air (lb/ lb dry air)}$$

$$Wa' = \text{Dry Air for Combustion (lb/lb AF Fuel)}$$

e. *Combustible in Refuse Losses (L5)*

$$L5 = Wd_r \times Hd_r \times \left(\frac{100}{HHV}\right) \quad (14)$$

Keterangan:

$$Wd_r = \text{Dry Refuse (lb/lb AF Fuel)}$$

$$Hd_r = \text{Heat Refuse (Btu/lb refuse)}$$

f. *Radiation Losses (L6)*

Untuk memperoleh kerugian atau *Losses* yang diakibatkan oleh radiasi yang terjadi dipermukaan alat boiler, sehingga estimasi akan dilakukan dengan menggunakan grafik ABMA sesuai dengan standar ASME PTC 4.1 [20].

g. *Unmeasured Losses (L7)*

*Unmeasured losses* atau L7 dalam metode *heat loss* ASME PTC 4.1 adalah kerugian panas yang tidak dihitung secara spesifik dalam kategori utama, seperti gas kering, uap air, pembakaran tak sempurna, radiasi, dll. Ini mewakili kerugian *minor*/kecil yang sulit diukur. Dalam perhitungan metode tidak langsung (*heat loss method*), *unmeasured losses* ini sering diasumsikan sebagai *lump sum* (nilai tunggal) sebesar 0,2% (0,1%-0,3%) dari total panas masukan, terutama untuk bahan bakar gas atau minyak [21, 22].

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari data yang terdapat pada Tabel 1 neraca massa pada boiler memiliki nilai selisih yang disebabkan oleh adanya aliran air ke *Continuous Blowdown Tank*. Meskipun demikian, laju alir keluar total dari sistem boiler tetap sebesar 1.143.066,00 kg/jam. Selisih dalam neraca massa ini juga disebabkan oleh adanya faktor-faktor yang lain seperti pembentukan kerak akibat mineral (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>), korosi, *steam carryover*, serta kebocoran pada sistem perpipaan boiler. Korosi umumnya disebabkan oleh gas korosif seperti O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>,

H<sub>2</sub>S, serta pH rendah dan perbedaan logam (korosi galvanis). Akumulasi kerak dan korosi ini dapat mengakibatkan penurunan efisiensi dan kapasitas boiler karena terjadinya penipisan pada dinding pipa.

Neraca panas sistem boiler dihitung dari dua komponen panas masuk, yaitu panas laten dari pembakaran bahan bakar ( $Q_1$ ) dan panas sensibel dari air umpan boiler ( $Q_2$ ), serta satu komponen panas keluar, yaitu panas yang diserap air menjadi uap ( $Q_3$ ) seperti data pada tabel 2 dan 3. Sementara itu, panas yang keluar dari boiler atau  $Q_3$  merupakan energi yang terserap air sehingga air akan berubah bentuk menjadi uap kering. *Steam* ini dibagi menjadi dua jalur: yang pertama ke *High Pressure Turbin* (HP Turbin) melalui *superheater* dan yang kedua menuju ke *Intermediate Pressure Turbin* (IP Turbin) melalui *reheater*.

Pada hasil perhitungan yang diperoleh terdapat selisih yang menggambarkan kerugian energi akibat berbagai faktor seperti kehilangan panas pada sistem, efisiensi pembakaran, serta kondisi fisik boiler. Total panas masuk ( $Q_{input}$ ) boiler dari kombinasi  $Q_1$  dan  $Q_2$  dan panas keluar  $Q_3$  ( $Q_{output}$ ) dapat diketahui pada Tabel 6 sebagaimana gambar sistem yang ada pada Gambar 1.

**Tabel 6.** Total panas (kalor masuk dan keluar)

Keterangan	Aliran Masuk (KJ)	Aliran Keluar (KJ)
Q1	838.866.200,00	
Q2	1.281.777.059,10	
Q3		1.924.790.357,00
Losses		195.852.902,10
Total panas	2.120.643.259,10	2.120.643.259,10

Hasil ini menunjukkan pentingnya pengelolaan kualitas bahan bakar dan kondisi air umpan untuk menjaga efisiensi boiler. Air umpan tidak boleh bersuhu rendah karena dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar dan menyebabkan *thermal stress* yang merusak struktur logam boiler. Efisiensi boiler yang tinggi juga dipengaruhi oleh kualitas batu bara (kelembaban, kadar abu, karbon, hidrogen, sulfur) dan kondisi sistem perpipaan. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa pengendalian kualitas air umpan, bahan bakar, serta pemeliharaan sistem perpipaan sangat penting untuk meminimalkan kehilangan panas dan menjaga performa optimal boiler.

Efisiensi boiler bisa didapatkan menggunakan dua pendekatan yang berbeda, yaitu *Direct Method* atau metode langsung serta *Indirect Method* atau metode tidak langsung yang mengacu pada standar *Performance Test Codes* yang dikeluarkan oleh *American Society of Mechanical Engineers (ASME PTC 4.1)*. Di pembangkit listrik tenaga uap Tanjung Awar-Awar, perhitungan efisiensi boiler dilakukan untuk mengetahui sejauh mana panas dari pembakaran bahan bakar berhasil dikonversi menjadi energi uap. Parameter penting dalam perhitungan ini mencakup suhu, tekanan air umpan, tekanan uap utama, penggunaan batu bara serta biomassa sebagai bahan bakar, dan nilai kalornya. Data dapat diperoleh melalui *operation manual book, Control Room (CCR)*, serta referensi pendukung lainnya, dan dihimpun saat boiler beroperasi dalam kondisi normal.

Pada metode langsung, efisiensi dihitung tanpa memperhitungkan kehilangan panas (*losses*), hanya berdasarkan panas yang diserap oleh air dan *steam* yang akan dibandingkan

dengan energi yang tersedia dari bahan bakar. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi boiler mencapai 90,76%, yang termasuk dalam kategori baik.

**Tabel 7.** Hasil efisiensi boiler dalam dua metode

Parameter	As tested
Losses didalam boiler	(%)
Metode langsung	90,76
Metode tidak langsung	91,32

Namun, metode tidak langsung memberikan pendekatan yang lebih rinci dengan mempertimbangkan berbagai sumber kehilangan panas seperti gas buang, kelembapan bahan bakar, kelembapan udara, pembakaran tidak sempurna, serta radiasi. Berdasarkan perhitungan metode tidak langsung, efisiensi boiler mencapai 91,32%.

**Tabel 8.** Hasil perhitungan losses pada metode tidak langsung

Parameter	As tested
Losses didalam boiler	(%)
Dry Gas	2,44096
Moisture In Fuel	3,08587
Combustion Of H <sub>2</sub> In Fuel	2,54905
Moisture In Air	0,06542
Combustible In Refuses	0,09752
Radiation Losses	0,19
Unmeasured Losses	0,25
Total Losses	8,67882
Boiler Efficiency	91,32

Salah satu kerugian panas terbesar berasal dari kehilangan gas buang kering, yaitu panas yang hilang ke atmosfer bersama dengan gas buang. Nilai kerugian ini adalah 2,44096% pada saat pengujian. Penurunan ini mengindikasikan perbaikan efisiensi, yang bisa disebabkan oleh berkurangnya deposit *slagging* pada pipa boiler. Selain itu, terjadi peningkatan kecil pada losses yang disebabkan oleh kandungan uap air dalam bahan bakar, yaitu 3,08587%, yang dapat dikaitkan dengan kualitas batu bara yang terkena air selama pengiriman atau penyimpanan. Kerugian lainnya, seperti pembakaran hidrogen dalam bahan bakar sebesar 2,54905%. Sementara itu, kerugian dari kelembapan udara memiliki hasil yang relatif rendah yaitu 0,06542%. Pembakaran yang tidak sempurna justru meningkat sebesar 0,09752%, yang mengindikasikan kurangnya oksigen selama proses pembakaran. Kerugian karena radiasi tetap konstan pada 0,19%, sesuai dengan nilai acuan dari ABMA Chart.

Perbedaan hasil efisiensi yang dihasilkan pada penggunaan kedua metode itu disebabkan oleh ruang lingkup parameter yang dihitung. Metode tidak langsung cenderung memberikan nilai efisiensi lebih tinggi karena menghitung secara detail berbagai sumber kerugian panas, termasuk yang tidak terukur secara langsung (*unaccounted losses*). Sementara metode langsung hanya mempertimbangkan *input* dan *output* panas secara sederhana tanpa menghitung losses secara rinci.

Secara keseluruhan, kedua metode menunjukkan bahwa efisiensi boiler pada Unit 2 PT PLN Nusantara Power Unit Pelaksana (UP) Tanjung Awar–Awar tergolong baik. Performa boiler selama produksi berlangsung dapat memberikan keseluruhan sistem dampak yang signifikan. Nilai efisiensi boiler merupakan persentase kerja boiler yang diperoleh dari energi yang diserap oleh fluida kerja, yaitu air di dalam boiler, dan energi yang berasal dari bahan bakar. Faktor-faktor seperti kualitas bahan bakar, usia boiler, dan kesalahan manusia juga dapat memengaruhi efisiensi pengoperasian. Oleh karena itu, pemantauan berkala dan perawatan yang optimal sangat penting untuk menjaga efisiensi kerja boiler di lapangan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada PLTU Tanjung Awar–Awar, laju alir *input* boiler memiliki selisih aliran sebesar 10.986,00 kg/jam yang mengalir ke CBD *tank* dari total *output* yang dihasilkan. Total energi panas yang masuk ke boiler ( $Q_{input}$ ) adalah sebesar 2.120.643.259,10 kJ, sedangkan energi panas yang keluar ( $Q_{output}$ ) sebesar 1.924.790.357,00 kJ, sehingga terdapat selisih panas sebesar 195.852.902,10 kJ. Hasil perhitungan efisiensi boiler menunjukkan bahwa metode langsung menghasilkan efisiensi sebesar 90,76%, sedangkan metode tidak langsung menghasilkan efisiensi sebesar 91,32%, yang keduanya tergolong baik. Penurunan pada efisiensi dapat dipengaruhi oleh kualitas batu bara, laju alir dan temperatur air proses, serta adanya *slagging* dan *fouling* pada pipa-pipa boiler.

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka disarankan untuk menjaga dan melakukan pengecekan agar dapat dilakukan pembenahan atau *maintenance* pada alat boiler. Sehingga nilai efisiensi boiler dapat terjaga dan tidak mengganggu kinerja pada banyak alat lainnya, serta untuk mencegah adanya kebocoran dan menghindari adanya penumpukan *slagging*. Sehingga dapat meminimalkan faktor-faktor penyebab penurunan efisiensi boiler.

#### REFERENSI

- [1] J. Purnomo, "Analisa Pengaruh Load Capacity Pembangkit listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar 350 MW Terhadap Efisiensi Turbin Generator QFSN-350-2 Unit 1," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin (JPTM)*, vol. 07, no. 02, hal. 43–49, 2018.
- [2] S. Prawardani dan T. A. Rachmanto, "Kajian Dampak Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Uap Tanjung Awar-Awar," *Enviroous*, vol. 4, no. 1, hal. 34–38, 2023.
- [3] A. H. Ilhamdzi, "Boiler, Preventive Maintenance, Preventive and Breakdown Maintenance Boiler in Steam Power Plant," *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, vol. 15, no. 2, hal. 94, 2023.
- [4] Y. Santi dan H. D. Arti, "Perhitungan Efisiensi Panas Pada Heat Recovery Steam Generator Di PT PLN Indonesia Power UBP Grati," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 11, no. 9, hal. 60–66, 2025.
- [5] Y. Pravitasaria, M. B. Malino, dan M. N. Maraa, "Analisis Efisiensi Boiler Menggunakan Metode Langsung," *Prisma Fisika*, vol. 5, no. 1, hal. 9–12, 2017.
- [6] M. H. Baringbing dan I. N. Sinaga, "Analisis Efisiensi Water Tube Boiler Menggunakan Metode Langsung Di PT. Toba Pulp Lestari, Tbk Porsea-Sumatera Utara," *Jurnal Teknik Mesin S-1*, vol. 11, no. 2, hal. 49–68, 2023.
- [7] S. Suhardi, K. Kamriani, S. Suryanto, dan J. Jamal, "Efek Pemakaian Economizer Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Pulverized Pada Unit Pembangkit Listrik Tenaga

- Uap,” *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, vol. 18, no. 1, hal. 137–147, 2020.
- [8] D. A. Maharani, E. Naryono, dan A. Eko, “Perhitungan Efisiensi Pada Boiler di PT. PLTU Tanjung Awar-Awar,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 414–420, 2023.
- [9] P. Rasworo, “Analisis efisiensi boiler CFB 2x60 MW PLTU PT X unit 2 dengan metode direct dan indirect,” *Journal of New Energies and Manufacturing (JONEM)*, vol. 1, no. 2, hal. 1, 2022.
- [10] I. Sriwijayasih, R. Leonard, E. Novianarenti, T. Prasetyo, dan K. M. Abubakar, “Analisis Neraca Massa Pada Power Boiler Dengan Bahan Bakar Kulit Kayu,” *Seminar Nasional terapan Seminar Inovatif (SENTRINOV) Ke-10*, vol. 10, no. 1, hal. 153–160, 2024.
- [11] D. Ermawati dan A. E. Wiyono, “Analisis Neraca Massa Pada Pembuatan Serbuk Pewarna Alami Daun Sawi (*Brassica rapa* var. *parachinensis* L.),” *JOFE : Journal of Food Engineering | E-ISSN*, vol. 1, no. 4, hal. 160, 2022.
- [12] K. P. Saragih dan T. Hutabarat, “Perhitungan Neraca Massa dan Neraca Energi pada Proses Pelumatan Fruit Di Unit Digester PT. SOCFIN INDONESIA Perkebunan Tanah Gambus,” *Jurnal Rekayasa, Teknologi Proses, Dan Sains Kimia (REPROKIMIA)*, vol. 2, no. 2, hal. 49–60, 2023.
- [13] S. Wuryanti, “Neraca Massa dan Energi,” in *Neraca Massa dan Energi*, 2016, hal. 21–28.
- [14] D. Dharmanto, M. I. Rusydi, P. Elmiawan, dan F. K. Fakhruddin, “Analisis neraca panas boiler pada departement utility,” *Jurnal Ilmu Teknik Mesin*, vol. 2, no. 2, hal. 19–25, 2022.
- [15] T. Tarsudin, E. Koswara, dan D. Susandi, “Analisis Efisiensi Boiler Fives Chail Babcock Br 2-39-62 Kapasitas 55 Ton/Jam Tekanan Kerja 26 Bar Di PT. PG. Rajawali II Unit PG. Jatitujuh,” *Seminar Teknologi Majalengka 4.0*, hal. 117–121, 2019.
- [16] Y. F. Wang dkk., “Fuzzy modeling of boiler efficiency in power plants,” *Information Sciences*, vol. 542, hal. 391–405, 2020.
- [17] American Society of Mechanical Engineers Performance Test Codes (ASME PTC), “Fired Steam Generators: Performance Test Code 4-2008,” New York, 2008.
- [18] M. Syukrillah, K. H. Khwee, dan A. Hiendro, “Analisis Perhitungan Efisiensi Energi Di Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) PT. Harjohn Timber Kubu Raya,” *Jurnal Teknik Elektro Untan*, vol. 5, no. 1, hal. 1–11, 2019.
- [19] American Society of Mechanical Engineers Performance Test Codes (ASME PTC), “Coal Pulverizers: Supplement to Performance Test Code for Steam Generating Units, PTC 4.1,” New York, 1969.
- [20] O. Erbas, “Investigation of factors affecting thermal performance in a coal - Fired boiler and determination of thermal losses by energy balance method,” *Case Studies in Thermal Engineering, Elsevier B.S.*, vol. 26, no. 4, hal. 1–11, 2021.
- [21] E. Sarwono dan I. Saputra, “Pemakaian Metode ASME PTC 4.1 Pada Evaluasi Performa (Efisiensi) Boiler Pulverized Firing di Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU),” *Radial : Jurnal Ilmiah Sains dan Rekayasa*, vol. 1, no. 1, hal. 51–60, 2023.
- [22] American Society of Mechanical Engineers Performance Test Codes (ASME PTC), “Appendix 1 Measuring Boiler Efficiency, Boiler Technologies,” *Energy Solution Resources*, hal. 1–8, 1985.