

# **ANALISIS EFISIENSI *BOILER FIRE-TUBE* PADA PRODUKSI STPP DI PT PETROCENTRAL GRESIK MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG**

Sandi Putra Wicaksana<sup>1</sup>, Arief Rahmatulloh<sup>1</sup>, Rachmad Subandi<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>PT Petrocentral Jl. Raya Roomo, Maduran, Roomo, Kec. Manyar, Kabupaten Gresik, Jawa Timur  
61151, Indonesia

[sandiputraw@gmail.com](mailto:sandiputraw@gmail.com) ; [\[arief1289@polinema.ac.id\]](mailto:[arief1289@polinema.ac.id])

## **ABSTRAK**

*Boiler* merupakan suatu alat untuk menghasilkan uap (*steam*). *Steam* (uap) pada *Boiler* dihasilkan dengan cara memanaskan air dalam wadah dengan bantuan panas dari bahan bakar. *Boiler* yang digunakan dalam proses produksi PT Petrocentral merupakan jenis *Boiler fire tube*. *Boiler* dengan efisiensi rendah dapat menyebabkan pemborosan konsumsi energi dan bahan bakar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan dari *Boiler* di PT Petrocentral dan mengetahui faktor faktor yang mempengaruhi selisih dari kedua metode perhitungan efisiensi *Boiler* pada PT Petrocentral. Pada penelitian ini dilakukan analisis efisiensi *Boiler* berbahan bakar natural gas yang terdapat di PT Petrocentral Gresik dengan metode langsung dan metode tidak langsung. Berdasarkan perhitungan efisiensi pada *Boiler* yang ada pada PT Petrocentral, didapati pada metode langsung (*Direct Method*) diperoleh efisiensi sebesar 86% dan perhitungan efisiensi pada metode tidak langsung (*Indirect Method*) diperoleh efisiensi sebesar 80,79%. Faktor penyebab adanya selisih dari kedua metode ini adalah pada metode langsung tidak menghitung panas yang dapat terbang seperti kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering, penguapan air sebab adanya H<sub>2</sub>, kehilangan panas oleh kadar air dalam udara, kehilangan panas karena radiasi, dan kehilangan lain yang tidak terhitung. Sedangkan pada metode tidak langsung hanya menghitung kemungkinan panas yang dapat terbang (*heat losses*).

**Kata kunci:** *Boiler, Direct Method, Efisiensi, Fire Tube Boiler, Indirect Method*

## **ABSTRACT**

*Boiler is a device used to generate steam. Steam is produced in a Boiler by heating water in a container with heat from fuel. The Boiler utilized in the production process at PT Petrocentral is a type of fire tube Boiler. Low-efficiency Boilers waste energy and fuel. The goal of this research is to identify the efficiency value generated by the Boiler at PT Petrocentral, as well as the variables influencing the difference between the two ways of calculating Boiler efficiency at PT Petrocentral. In this study, the efficiency of natural gas-fired Boilers at PT Petrocentral Gresik was assessed using both the direct and indirect methods. According to the calculation of the efficiency of the Boiler at PT Petrocentral, the direct technique achieved an efficiency of 86% and the indirect method achieved an efficiency of 80.79%. The difference between these two methods is that the direct method does not account for heat losses caused by dry flue gas, evaporation of water due to the presence of H<sub>2</sub>, heat loss due to water content in the air, heat loss due to radiation, and other losses. uncountable. The indirect method, on the other hand, just calculates the likelihood of heat losses.*

**Keywords:** *Boiler, Direct Method, Efficiency, Fire Tube Boiler, Indirect Method*

## 1. PENDAHULUAN

PT Petrocentral, Gresik merupakan perusahaan yang memproduksi bahan baku deterjen yang disebut sebagai *Sodium Tripoly Phosphate* (STPP). PT Petrocentral, Gresik pada saat ini merupakan satu-satunya industri yang bergerak pada produksi Sodium Tripolyphosphate (STPP) di Indonesia. PT Petrocentral merupakan salah satu perusahaan yang menggunakan *Boiler* dalam proses produksinya. *Boiler* adalah alat untuk menghasilkan uap (*steam*) untuk berbagai keperluan [1]. *Boiler* juga bisa disebut sebagai konverter energi yang mengubah air dari fase cair menjadi fase uap bertekanan tinggi [2]. *Boiler* dirancang untuk mentransfer panas dari sumber pembakaran, yang biasanya berupa bahan bakar yang terbakar[3]. Uap (*steam*) di dalam *Boiler* dibuat dengan cara memanaskan air di dalam *Boiler* dengan panas bahan bakar. Uap (*steam*) yang dihasilkan oleh *Boiler* digunakan dalam berbagai aplikasi proses industri, seperti penggerak, pemanas, dan lain-lain [1]. Penggunaan *Boiler* juga harus sesuai dengan standar operasional yang telah ditetapkan [4]. *Boiler* yang digunakan dalam proses produksi pada PT Petrocentral merupakan jenis *Boiler fire tube*. Air yang digunakan dalam proses ini menggunakan air *demineralizer* yang sudah dimurnikan dan dihilangkan dari kandungan mineralnya. Pada awal pembuatan *Boiler* di PT Petrocentral memiliki efisiensi sebesar 85% dengan bahan bakar yang digunakan fuel oil, seiring dengan berjalannya waktu bahan bakar yang digunakan dirubah menggunakan natural gas. Kinerja *Boiler* dalam proses dapat berdampak signifikan pada keseluruhan sistem produksi. 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 [5]. Penurunan kinerja *Boiler* dapat mempengaruhi nilai efisiensi *Boiler* yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu konsumsi bahan bakar, laju alir *steam*, temperatur air umpan *Boiler*, serta tekanan dan temperatur *Boiler* [6]. Turunnya kinerja operasional *Boiler* akan berpengaruh terhadap kinerja proses dalam produksi yang ada pada PT Petrocentral. Penelitian yang dilakukan oleh Aji Abdillah, perhitungan efisiensi *Boiler* dilakukan untuk menghindari pemborosan didalam penggunaan bahan bakar serta menekan biaya operasional [7]. Penelitian lain juga menyebutkan bahwa perhitungan efisiensi *Boiler* dilakukan agar dapat diketahui *Boiler* tersebut dalam keadaan optimal atau tidak, dan agar dapat diketahui pula apakah ada hal-hal yang mempengaruhi kinerja dari *Boiler* tersebut [8].

Dalam keadaan tersebut, perlu dilakukan pengkajian dan analisis yang dikenal dengan dua metode untuk mengevaluasi efisiensi *Boiler* yaitu metode langsung atau metode *input-output* dan metode tidak langsung atau metode kehilangan panas [9]. Metode langsung atau metode input-output merupakan metode yang hanya membandingkan daya yang tersedia (uap) dan masukan panas (bahan bakar) untuk memperkirakan efisiensi [10]. Sedangkan metode tidak langsung merupakan perbedaan antara kehilangan panas dan kehilangan energi bahan bakar [11]. Metode tidak langsung juga membutuhkan fasilitas laboratorium yang lengkap untuk mendapatkan data yang dibutuhkan [12].

Pada penelitian ini dilakukan analisis efisiensi *Boiler* berbahan bakar natural gas yang terdapat di PT Petrocentral Gresik dengan metode langsung dan metode tidak langsung. Data yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari PT Petrocentral. Kelebihan dari metode langsung yaitu efisiensi *Boiler* dapat dievaluasi dengan cepat, hanya membutuhkan sedikit parameter dan tidak memerlukan analisis laboratorium terlalu banyak untuk

perhitungan. Sedangkan metode tidak langsung dapat menghitung efisiensi secara detail dengan mempertimbangkan kemungkinan kehilangan panas yang dapat terjadi [13].

Berdasarkan latar belakang dan hasil penelitian terdahulu maka perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan dari *Boiler* di PT Petrocentral dan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi selisih dari kedua metode perhitungan efisiensi *Boiler* pada PT Petrocentral.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis kehilangan panas (*heat loses*) pada *Boiler* jenis *fire tube* pada PT Petrocentral yang bertujuan untuk mendapat nilai efisiensi mesin *Boiler* sesuai dengan standar operasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*) sesuai dengan persamaan-persamaan atau rumus dari beberapa literatur serta data yang digunakan didapat dari observasi lapangan secara langsung. Kemudian data observasi lapangan digunakan untuk menganalisis kinerja *Boiler* dengan menggunakan metode langsung dan tidak langsung. Adapun data yang didapat dari PT Petrocentral sebagai berikut:

**Tabel 1.** Data parameter perhitungan langsung (*Direct Method*)

Parameter	Operasi	Satuan
Q, Jumlah <i>Steam</i>	15000	kg/jam
q, Jumlah Bahan Bakar	821	kg/jam
hg, Entalpi <i>Steam</i> Jenuh	661,165	kkal/kg
hf, Entalpi Air Umpan	95,032	kkal/kg
GCV	12000	kkal/kg

**Tabel 2.** Data parameter perhitungan tidak langsung (*Indirect Method*)

Parameter	Operasi	Satuan
Carbon, C	75	wt%
Oxygen, O <sub>2</sub>	0,65	wt%
Sulfur, S	0	wt%
Hydrogen, H <sub>2</sub>	22,89	wt%
Oxygen percentage, O <sub>2</sub>	9,8	%
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub>	4,4	%
Gas exhaust temp, T <sub>f</sub>	225	C
Ambient temp, T <sub>a</sub>	40	C
Air humidity	0,018	kg/cm <sup>3</sup>

Tahapan proses perhitungan efisiensi *Boiler fire tube* dengan metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*) dijabarkan sebagai berikut:

### 2.1. Tahapan perhitungan efisiensi *Boiler* metode langsung (*direct method*)

Tahapan dalam perhitungan efisiensi boiler jenis *fire tube* dengan menggunakan metode langsung (*direct method*) diawali dengan mencari nilai jumlah *steam* yang dihasilkan (Q), kemudian mencari kebutuhan bahan bakar yang digunakan (q), selanjutnya mencari nilai entalpy *steam* keluaran *Boiler* (h<sub>g</sub>) dalam kkal/kg *steam*, dan entalpy air umpan *Boiler* (h<sub>f</sub>) dalam kkal/kg air, serta mencari nilai panas spesifik bahan bakar (GCV)

[14]. Semua data yang digunakan dalam perhitungan berdasarkan pengambilan data secara langsung di lapangan, kemudian melakukan proses perhitungan efisiensi mesin *Boiler fire tube* dari hasil data diatas dengan metode langsung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Boiler} &= \frac{Q \times (h_g - h_f)}{q \times \text{GCV}} \quad [12] \\ \text{Efisiensi Boiler} &= \frac{15000 \text{ kg/jam} \times (661,165 - 95,032) \text{ Kkal/kg}}{821 \text{ kg/jam} \times 12000 \text{ Kkal/kg}} \times 100\% \quad (1) \\ \text{Efisiensi Boiler} &= 86\% \end{aligned}$$

## 2.2. Tahapan perhitungan efisiensi *Boiler* metode tidak langsung (*indirect method*)

Tahapan dalam perhitungan efisiensi boiler jenis *fire tube* dengan menggunakan metode tidak langsung (*indirect method*) dilakukan melalui beberapa tahap. dimulai dengan menghitung kemungkinan panas yang dapat terbuang seperti persentase kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering (A), kemudian menghitung penguapan air yang terbentuk oleh adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar (B), selanjutnya menghitung persen kehilangan panas oleh kadar air dalam udara (C), dan menghitung kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung (D). Data yang digunakan dalam perhitungan metode tidak langsung didapat dari lab berdasarkan buangan pembakaran *Boiler*, apabila nilai masing masing persentase kehilangan panas telah didapat selanjutnya perhitungan efisiensi menggunakan metode tidak langsung (*indirect method*) dapat dihitung. Adapun tahapan perhitungan metode indirect method sebagai berikut:

Metode tidak langsung (*indirect method*)

a. Perhitungan Aktual (Kebutuhan Udara Teoritis) [12]

$$\begin{aligned} &= \frac{[(11,43 \times C) + 34,5 \times (H_2 - \frac{O_2}{8}) + (4,32 \times S)]}{100} \\ &= \frac{[(11,43 \times 75) + 34,5 \times (22,89 - \frac{0,65}{8}) + (4,32 \times 0)]}{100} \quad (2) \\ &= 16,43 \text{ kg udara/kg bahan bakar} \end{aligned}$$

b. Perhitungan Aktual (Persen udara berlebih yang dipasok, EA) [12]

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{persen } O_2}{(21 - \text{persen } O_2)} \\ &= \frac{9,8}{(21 - 9,8)} \quad (3) \\ &= 87,5\% \end{aligned}$$

c. Perhitungan Aktual (Massa udara yang di pasok / kg bahan bakar, AAS) [12]

$$\begin{aligned} &= \left[ \frac{1 + EA}{100} \right] \times \text{Udara Teoritis} \\ &= \left[ \frac{1 + 87,5}{100} \right] \times 16,43 \quad (4) \\ &= 0,885 \times 16,43 \\ &= 14,54\% \text{ kg udara/kg bahan bakar} \end{aligned}$$

d. Perhitungan Aktual (Kehilangan Panas, A) Persentase Kehilangan Panas yang diakibatkan Oleh Gas Buang Kering [12]

$$\begin{aligned} Q &= \frac{m \times c_p \times (T_f - T_a)}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100\% \\ m &= \text{massa C} + \text{Massa S} + \text{massa } N_2 + \text{massa } O_2 \quad (5) \\ m &= \frac{0,75 \times 44}{12} + \frac{0 \times 64}{32} + \frac{14,54 \times 77}{100} + (0,098 \times 32) \end{aligned}$$

$m = 17,07 \text{ kg/kg}$  bahan bakar

$$Q = \frac{17,07 \times 0,23 \times (225-40)}{12000} \times 100\%$$

$$Q = 5,72\%$$

e. Persen kehilangan Panas (Penguapan air yang terbentuk oleh adanya  $H_2$  dalam bahan bakar, B) [12]

$$Q = \frac{9 \times H_2 \times [584 + C_p \times (T_f - T_a)]}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100\%$$

$$Q = \frac{9 \times 22,89 \times [584 + 0,45 \times (225 - 40)]}{12000} \quad (6)$$

$$Q = 11,37 \%$$

f. Persen kehilangan panas (oleh kadar air dalam udara, C) [12]

$$= \frac{\text{ASS} \times \text{Faktor kelembaban} \times C_p \times (T_f - T_a)}{\text{GCV bahan bakar}} \times 100\%$$

$$= \frac{14,54 \times 0,088 \times 0,45 \times (225 - 40)}{12000} \quad (7)$$

$$= 0,171\%$$

g. Efisiensi *Boiler* ( $\eta$ ), metode tidak langsung [12]

$$\text{Efisiensi Boiler} = 100\% - \text{Persentase Kehilangan Panas (A + B + C + D)}$$

$$\text{Efisiensi Boiler} = 100\% - (5,72 + 11,37 + 0,171 + 2) \quad (8)$$

$$\text{Efisiensi Boiler} = 80,74\%$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan efisiensi mesin *Boiler* tipe *fire tube* dengan menggunakan metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*). Pada metode langsung potensi penyebab inefisiensi tidak dapat diidentifikasi, oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan dengan metode tidak langsung (*indirect method*) untuk menilai tingkat keakuratan perhitungan seperti menghitung faktor presentasi kehilangan panas (*heat loss*) terhadap analisis gas buang kering dan temperatur gas buang sehingga dapat diketahui sumber kerugian tersebar agar dapat dilakukan evaluasi dari kerugian tersebut [15].

#### 3.1. Perhitungan Analisis Efisiensi *Boiler* Metode langsung (Direct Method)

Data yang diperoleh untuk menghitung efisiensi menggunakan metode langsung disajikan pada Tabel 1. Nilai dari data ( $Q$ ,  $q$ ,  $h_f$ ,  $h_g$  dan GCV) akan digunakan untuk mencari nilai efisiensi *Boiler* dengan metode langsung (*direct*) [15]. Berdasarkan perhitungan efisiensi secara aktual dengan menggunakan metode langsung (*Direct Method*) mendapatkan nilai efisiensi mesin *Boiler fire tube* adalah 86 %. Hasil tersebut menandakan bahwa mesin *Boiler fire tube* memiliki efisiensi yang masih cukup baik untuk beroperasi.

#### 3.2. Perhitungan Analisis Efisiensi *Boiler* Metode Tidak langsung (Indirect Method)

Data yang diperoleh untuk menghitung efisiensi menggunakan metode tidak langsung (*Indirect Method*) disajikan pada Tabel 2. Dari data yang didapat akan digunakan untuk melakukan proses perhitungan efisiensi mesin *Boiler fire tube* dengan menggunakan metode tidak langsung (*Indirect Method*). Didapati untuk perhitungan nilai efisiensi *Boiler* menggunakan metode tidak langsung (*indirect method*) sebesar 80,74%. Perhitungan metode tidak langsung dilakukan dengan beberapa tahapan perhitungan,

adapun tahapan dalam perhitungan metode tidak langsung (*Indirect Method*) untuk menentukan efisiensi mesin *Boiler* sebagai berikut :

a. Perhitungan Aktual (Kebutuhan Udara Teoritis)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 2, diperoleh nilai 16,43 kg udara/kg bahan bakar yang merupakan hasil dari kebutuhan udara teoritis yang dibutuhkan untuk mengoperasikan sistem pembakaran pada mesin *Boiler* dengan menggunakan data lapangan persentase penggunaan karbon, hidrogen dan oksigen [7].

b. Perhitungan Aktual (Persen udara berlebih yang dipasok, EA)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 3, diperoleh nilai 87,5% dari nilai udara tambahan yang terkait dengan unsur oksigen cukup untuk menyelesaikan proses pemanasan air di mesin *Boiler* [7].

c. Perhitungan Aktual (Massa udara yang di pasok / kg bahan bakar, AAS)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 4, diperoleh nilai 14,54% persentase massa udara yang dibutuhkan dari nilai EA untuk proses pemanasan air. Nilai ini sudah memenuhi untuk proses per kilo pembakaran bahan bakar [7].

d. Perhitungan Aktual (Kehilangan Panas, A) Persentase Kehilangan Panas yang Diakibatkan Oleh Gas Buang Kering

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 5, diperoleh nilai 5,72% memenuhi standar persentase kehilangan panas melalui gas buang kering. batas standar yang ditentukan yaitu  $\leq 12,7\%$  [7].

e. Persen kehilangan Panas (Penguapan air yang terbentuk oleh adanya H<sub>2</sub> dalam bahan bakar, B)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 6, diperoleh persentase kehilangan panas (penguapan air akibat H<sub>2</sub> dalam bahan bakar) sebesar 11,37% tidak memenuhi standar karena melebihi nilai 8,1%. Namun hal ini diperbolehkan karena metode tersebut tidak memiliki fungsi untuk Analisis titik kerugian selama operasi [7].

f. Persen kehilangan panas (oleh kadar air dalam udara, C)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 7, diperoleh persentase kehilangan panas dari kadar air sebesar 0,171%. Nilai ini sudah memenuhi standar perhitungan maksimal 0,3% [7]. Kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung, D=2 %.

g. Persen Kehilangan panas (Radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung, D)

Hasil persentase kehilangan panas yang disebabkan oleh radiasi dan kehilangan yang tidak terhitung lainnya diasumsikan nilainya sebesar 2% [7].

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan perhitungan efisiensi pada *Boiler* yang ada pada PT Petrocentral, pada metode langsung (*Direct Method*) diperoleh efisiensi sebesar 86% dan perhitungan efisiensi pada metode tidak langsung (*Indirect Method*) diperoleh efisiensi sebesar 80,79%. Hal ini apabila di dibandingkan dengan data rancangan awal yang memiliki efisiensi 85%, metode tidak langsung mengalami penurunan efisiensi dikarenakan dalam metode tidak langsung menghitung kemungkinan kehilangan panas yang dapat terjadi. Sedangkan pada metode langsung mengasumsikan bahwa tidak ada kerugian peralatan. Faktor Penyebab selisih

antara kedua metode ini adalah pada metode langsung tidak menghitung panas yang dapat terbuang seperti kehilangan panas yang diakibatkan oleh gas buang kering, penguapan air yang terbentuk oleh adanya H<sub>2</sub>, kehilangan panas oleh kadar air dalam udara, kehilangan panas karena radiasi dan kehilangan lain yang tidak terhitung. Sedangkan pada metode tidak langsung hanya menghitung kemungkinan panas yang dapat terbuang (*heat losses*). Dapat disimpulkan bahwa perhitungan efisiensi *Boiler* menggunakan metode tidak langsung lebih akurat karena mempertimbangkan *heat losses* yang ada.

Saran untuk penelitian/studi literatur berikutnya untuk meningkatkan nilai efisiensi *Boiler* pada PT Petrocentral adalah dengan memasang *Economizer* pada cerobong buangan *Boiler*, karena pada cerobong buangan pabrik PT Petrocentral memiliki suhu gas buang yang tinggi sehingga dapat dimanfaatkan untuk mengurangi energi yang digunakan. Solusi lain yang dapat ditawarkan yaitu melakukan maintenance secara berkala pada alat *Boiler* di PT Petrocentral untuk meningkatkan efisiensi kerja *Boiler* dan meningkatkan kinerja proses pada pabrik PT Petrocentral agar selalu optimal.

## REFERENSI

- [1] K. Rahmawati, "Perancangan Desain *Boiler* pada Mini Plant *Steam Engine* untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap," *Progr. Stud. DIII Teknol. Instrumentasi Dep. Tek. Instrumentasi Fak. Vokasi Inst. Teknol. Sepuluh Nop. Surabaya*, hal. 1–96, 2018.
- [2] S. Shah dan D. M. Adhyaru, "*Boiler Efficiency Analysis Using Direct Method*," *Nirma Univ. Int. Conf. Eng. Ahmedabad, India*, 2011, doi: 10.1109/NUiConE.2011.6153313.
- [3] J. Purba, "Perancangan *Boiler* Pipa Api Untuk Perebusan Bubur Kedelai Pada Industri Tahu Kapasitas Uap Jenuh 160 Kg / Jam," *Peranc. Boil.*, hal. 1–8, 2015.
- [4] A. Sugiharto, "Tinjauan Teknis Pengoperasian dan Pemeliharaan *Boiler*," *Forum Teknol.*, vol. 6, no. 2, hal. 56–69, 2016.
- [5] Wienese, "*Boiler Fuel and Boiler Efficiency*, Proceedings of The South African Sugar Technologists," *Association*, hal. 275–28, 2001.
- [6] Y. Pravitasari, M. B. Malino, dan M. N. Mara, "Analisis Efisiensi *Boiler* Menggunakan Metode Langsung," *Prism. Fis.*, vol. 5, no. 1, hal. 9–12, 2017.
- [7] Kharisma dan Budiman, "Perhitungan Efisiensi (Efficiency) Mesin *Boiler* Jenis Fire – Tube Menggunakan Metode Direct dan Indirect untuk Produk Butiran–Butiran Pelet," *Ug J.*, vol. 14, no. 1–10, 2020.
- [8] W. N. L. Gusti, T. Prasetyo, dan A. Roihadin, "Analisis Efisiensi Fire Tube *Boiler* TWA Kapasitas 6000 kg/jam untuk Pemanas Kilang di PPSDM Migas Cepu Kab. Blora dengan Metode Langsung," *Pros. NCIET*, vol. 3, hal. 13–22, 2022.
- [9] G. T. Dhanre, U. T. Dhanre, dan K. Mudafale Mtech Scholar, "Review Paper on Energy Audit of a *Boiler* in Thermal Power Plant," *Int. J. Eng. Research and General Science*, vol. 2, no. 6, hal. 283–288, 2014.
- [10] Y. C. Dwiaji dan D. M. Utama, "Analisis Efisiensi *Boiler* Terhadap Pola Pengoperasian Sootblower Di PLTU Suralaya," *J. Simetrik*, vol. 10, no. 1, hal. 308, 2020, doi: 10.31959/js.v10i1.359.
- [11] C. L. Chayalakshmi, D. S. Jangamshetti, dan S. Sonoli, "Design and Development of an ARM Platform Based Embedded System for Measurement of *Boiler Efficiency*," *IEEE Symp. Ind. Electron. Appl. Kuching, Malaysia*, hal. 39–43, 2013, doi:

- 10.1109/ISIEA.2013.6738964.
- [12] W. S. Winanti dan T. Prayudi, "Perhitungan Efisiensi *Boiler* Pada Industri Tepung Terigu," *J. Tek. Lingkung.*, hal. 58–65, 2006.
- [13] N. T. Sahda, J. M. Sentosa, dan L. Adhani, "Analisis Efisiensi *Boiler* menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang," *J. Eng. Environmental Energy Sci.*, vol. 1, no. 1, hal. 39–48, 2022, doi: 10.31599/joes.v1i1.979.
- [14] G. P. A. Gumelar, M. N. Dewi, A. Miftah, W. Endranaka, dan B. A. F. Eka, "Analisis Efisiensi *Boiler* Berbahan Bakar Gas di PT XYZ Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung," *Technol. Renew. Energy Dev.*, vol. 2, no. 1, hal. 22–28, 2022.
- [15] D. Aprilia dan Hardjono, "Penentuan Efisiensi *Boiler* Dengan Menggunakan Metode Langsung Di Pt X Lumajang," *Distilat J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 421–426, 2021, doi: 10.33795/distilat.v7i2.237.