

## ANALISIS PERFORMA KINERJA BOILER A MENGGUNAKAN DIRECT METHOD DAN INDIRECT METHOD PADA AREA UTILITAS

Lian Safitri<sup>1\*</sup>, Tun Sriana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38 Cepu, Blora, 58315

\*E-mail: liansav01@gmail.com

### ABSTRAK

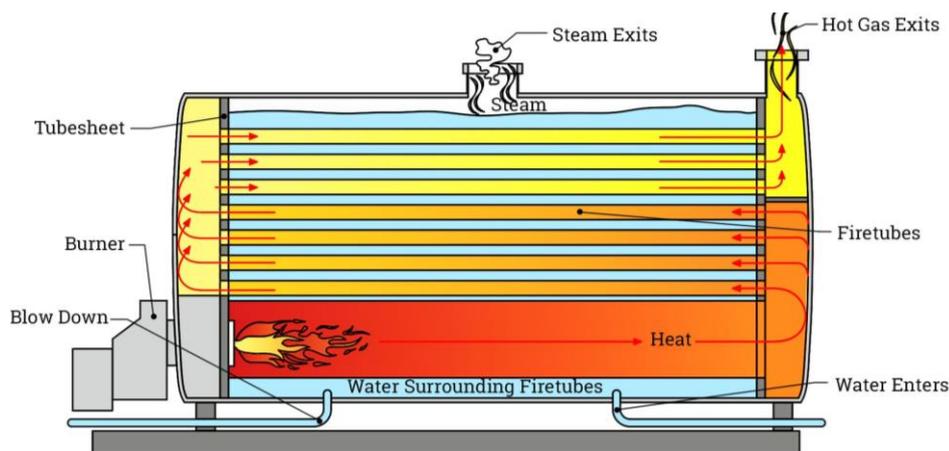
*Boiler* (Generator Uap) merupakan komponen vital yang bertugas menghasilkan uap untuk berbagai keperluan operasional. Di PT X, uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin generator dan sebagai bahan mentah dalam pembuatan pelumas. Proses di dalam *boiler* sangat kompleks, sehingga dibutuhkan beberapa sistem pengendalian untuk memastikan proses berjalan sesuai harapan. Performa pembakaran pada *boiler* sering kali dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar, kebutuhan *excess air*, dan proses *maintenance* pada *support equipment boiler*. Kehilangan energi merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi untuk mengidentifikasi mesin *boiler* dengan menghitung menggunakan metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*) agar mendapatkan hasil efisiensi yang baik. Kinerja dari alat *Boiler A* sendiri mengalami penurunan hal ini dibuktikan dengan efisiensi aktual yang didapat dari perhitungan *indirect method* sebesar 80,73% dan *direct method* sebesar 83,3%, sedangkan efisiensi desain adalah sebesar 85 %. Faktor penyebab penurunan efisiensi *Boiler A* diantaranya yaitu *boiler* yang terdapat *fouling* /kerak yang menempel pada *tube-tube* -nya, dan usia dari *boiler* sendiri yang sudah lama beroperasi.

**Kata kunci:** *Boiler, Direct Method, Indirect Method*

### 1. PENDAHULUAN

*Boiler* (Generator Uap) merupakan komponen vital yang bertugas menghasilkan uap untuk berbagai keperluan operasional. Di PT X, uap yang dihasilkan digunakan untuk menggerakkan turbin generator dan sebagai bahan mentah dalam pembuatan pelumas. Proses di dalam boiler sangat kompleks, sehingga dibutuhkan beberapa sistem pengendalian untuk memastikan proses berjalan sesuai harapan [1]. Ada berbagai sistem pengendalian yang diterapkan pada boiler, termasuk sistem pengendalian pembakaran (*combustion control system*). Salah satu jenis sistem pengendalian pembakaran yang ada adalah sistem kontrol rasio. Sistem ini memiliki peran penting dalam meningkatkan efisiensi boiler serta memastikan komposisi udara dan bahan bakar yang tepat untuk mencapai pembakaran yang optimal [2]. Efisiensi pembakaran dan tingkat emisi suatu boiler sangat bergantung pada karakteristik kimiawi dan fisik bahan bakar yang dibakar [3].

*Boiler* merupakan bejana dengan wadah tertutup yang berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) [4]. *Steam* yang dihasilkan diperoleh dengan cara memanaskan wadah yang berisi air menggunakan bahan bakar [5]. Biasanya, boiler menggunakan bahan bakar berupa cair (seperti residu atau solar), padat (seperti batubara), atau gas. Namun, pada boiler *Type NW 3-Pass* di PT X, bahan bakar yang digunakan adalah *Compressed Natural Gas* (CNG) [6]. Bagian dalam *Boiler* ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1. Fire Tube Boiler**

Kinerja pembakaran pada boiler sering dipengaruhi oleh kualitas bahan bakar, kebutuhan *excess air*, dan proses pemeliharaan pada peralatan pendukung boiler. Kehilangan energi adalah salah satu faktor krusial yang memengaruhi kemampuan untuk mengidentifikasi kinerja mesin boiler [7]. Oleh karena itu, perhitungan menggunakan *direct method* dan *indirect method* penting dilakukan untuk memperoleh hasil efisiensi yang optimal [8]. Metode langsung atau input-output adalah cara sederhana untuk mengukur efisiensi suatu sistem dengan membandingkan besaran keluaran (uap) terhadap besaran masukan (bahan bakar) [9]. Sebaliknya, cara tidak langsung menghitung efisiensi dengan membandingkan panas yang hilang dengan energi bahan bakar yang terbuang [10].

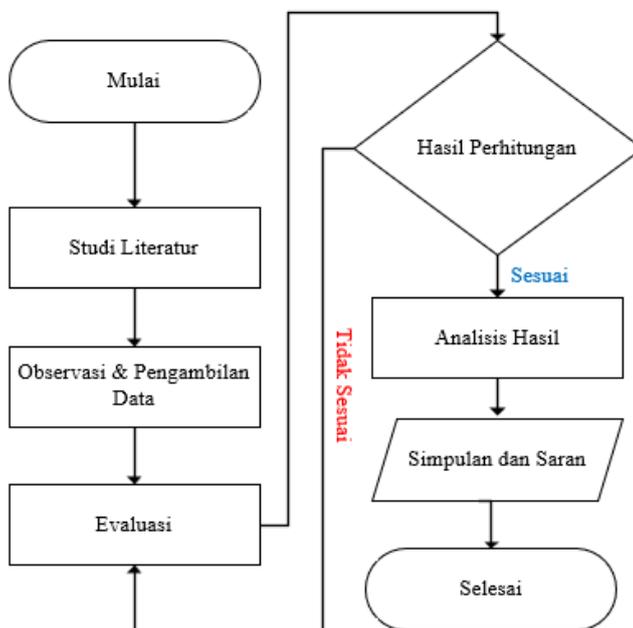
Dalam perhitungan efisiensi boiler, energi yang dipindahkan ke atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dibandingkan dengan energi kimia yang dimasukkan dari bahan bakar. Hasilnya biasanya diekspresikan sebagai persentase [11]. Seperti pada penelitian kharisma pada tahun 2020, Semakin tinggi efisiensi boiler, semakin sedikit energi yang terbuang dan semakin baik kinerjanya dalam memproduksi uap atau panas [2]. Dengan meningkatkan efisiensi boiler, dapat mengurangi konsumsi bahan bakar, mengurangi biaya operasional, dan mengurangi dampak lingkungan melalui pengurangan emisi gas buang [12].

Analisis performa kinerja boiler difokuskan pada efisiensi boiler, yang merupakan ukuran kinerja boiler yang diperoleh dari membandingkan energi yang ditransfer ke atau diserap oleh fluida kerja di dalam boiler dengan energi kimia yang dimasukkan dari bahan bakar [13]. Efisiensi kinerja boiler menjadi sangat penting untuk dikaji. Agar mengetahui ketidakefisien boiler maka kita perlu mengetahui variabel-variabel input dan output dari proses produksi steam dengan menggunakan hukum kesetimbangan massa dan energi. Boiler yang bekerja secara efisien akan menghemat bahan bakar. Semakin tinggi persentase efisiensinya, semakin baik kinerja sistem tersebut [14].

## 2. METODE

Metode yang digunakan meliputi variabel penelitian, metode kerja dan metode analisis. Variabel penelitian ini harus ditentukan terlebih dahulu sebelum melakukan sebuah penelitian. Variabel ini terdiri atas variabel bebas (x) dan variabel terikat (y) yang mempunyai hubungan sangat erat. Dalam perhitungan evaluasi ini penulis menggunakan 2 metode perhitungan. Metode langsung (*Direct Method*) merupakan pendekatan yang membandingkan energi yang terkandung dalam steam dengan energi yang terdapat dalam bahan bakar boiler dan juga Metode Tidak Langsung merupakan pendekatan dalam evaluasi kinerja boiler yang mengukur selisih antara energi input dan energi yang tidak terkonversi menjadi uap. Metode ini mengacu

pada standar-standar internasional seperti BS 845:1987 dan ASME PTC-4-1 sebagai acuan dalam pengujian.



**Gambar 2. Flowchart Metode Kerja**

Gambar 2. *flowchart* metode kerja yang berisi tahapan awal sampai dengan akhir penelitian. Metode kerja ini terdiri dari tahap persiapan, pelaksanaan dan penyelesaian. Tahapan pelaksanaan sendiri meliputi literasi materi penelitian dari jurnal-jurnal. Lalu tahap pelaksanaan yang mencakup pencarian data lapangan kemudian diolah menggunakan microsoft excel dan perhitungan untuk analisis hasil, dan simpulan untuk tahap penyelesaian.

### 3. PEMBAHASAN

#### A. Data Desain & Kondisi Operasi Boiler

Data desain ini terdiri dari data suhu dan temperatur *dryer scrubber*. Data ini diperlukan untuk perbandingan hasil setelah dilakukan optimasi. Berikut adalah data desain ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1. Data Desain Boiler**

Spesifikasi Boiler	
<i>Code &amp; Std</i>	<i>ASME Sect. I</i>
<i>Type</i>	<i>NW 3-Pass (Smoke tube shell boiler in wet back design)</i>
<i>Capacity</i>	<i>2 x 8 TPH (Boiler A &amp; B)</i>
<i>Flow max</i>	<i>7 TPH</i>
<i>Design Press</i>	<i>5,5 BARG</i>
<i>Design Temp</i>	<i>162 deg C</i>
<i>Working Press</i>	<i>5 BARG</i>

Spesifikasi Boiler	
Working Temp	162 deg C
Hydrostatic Test	7,5 BAR
Pemanufaktur	PT. NW Industries Jakarta

Data kondisi operasi yang diperlukan dalam perhitungan mencakup tekanan kerja, suhu kerja, serta kapasitas dari boiler. Semua faktor tersebut penting untuk memastikan perhitungan yang akurat dan efisien. Selain kondisi operasi terdapat juga data dari parameter perhitungan direct method pada tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Perhitungan Direct Method**

Parameter	Operasi	Satuan
Q, jumlah steam	5200	kg/jam
q, Jumlah Bahan Bakar	1790,131	kg/jam
hg, Entalpi Steam Jenuh	651,36	kcal/kg
hf, Entalpi Air Umpan	134,22	kcal/kg
GCV	9082	kcal/kg

Perhitungan menggunakan metode langsung memerlukan parameter yang relatif sedikit, seperti jumlah *steam*, bahan bakar, entalpi steam jenuh, entalpi air umpan, dan juga GCV. Semua parameter tersebut digunakan untuk menentukan efisiensi boiler secara langsung.

**Tabel 3. Parameter Perhitungan Indirect Method**

Parameter	Operasi	Satuan
Carbon, C	73,83	% wt
Oxigen, O2	1,1	% wt
Sulfur, s	0	% wt
Hydrogen, H2	24,22	% wt
Oxygen Percentage, O2	2,4	%
Carbon dioxide, CO2	12,27	%
Gas Exhaust temp, Tf	183	C
Ambient Temp, Ta	30	C
Air Humidity	0,018	Kg/cm3

Metode tidak langsung membutuhkan banyak parameter untuk menghitung efisiensi boiler secara lebih detail. Salah satunya adalah kandungan karbon dan sulfur dalam bahan bakar yang digunakan.

### A. Evaluasi Kinerja Boiler

Kinerja boiler, seperti efisiensinya, cenderung menurun seiring waktu karena faktor-faktor seperti pembakaran yang tidak optimal, permukaan penukar panas yang kotor, serta operasi dan pemeliharaan yang kurang baik. Bahkan pada boiler baru, kinerja yang buruk bisa disebabkan oleh kualitas bahan bakar dan air yang rendah. Neraca panas dapat digunakan untuk mengidentifikasi kehilangan panas yang bisa dihindari atau yang tidak bisa dihindari. Pengujian efisiensi boiler membantu menemukan penyimpangan antara efisiensi aktual dan efisiensi optimal, serta mengidentifikasi area masalah yang memerlukan perbaikan.

Dalam konteks neraca panas, mekanisme pembakaran dalam boiler digambarkan melalui diagram alir energi. Diagram ini memberikan visualisasi grafis tentang bagaimana energi yang berasal dari bahan bakar diubah menjadi aliran energi untuk berbagai kegunaan, serta aliran

yang menunjukkan kehilangan panas dan energi. Ketebalan panah pada diagram menunjukkan jumlah energi yang terkandung dalam setiap aliran tersebut.

### B. Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Langsung (*direct method*)

Tahapan awal dalam perhitungan efisiensi *boiler fire tube* dengan metode langsung adalah menentukan laju produksi uap ( $Q$ ) dan laju konsumsi bahan bakar ( $q$ ). Selain itu, parameter-parameter seperti entalpi *steam* ( $hg$ ), entalpi air umpan ( $hf$ ), dan nilai panas spesifik bahan bakar (GCV) juga perlu diperoleh melalui pengukuran langsung. Data-data yang telah dikumpulkan kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi boiler berdasarkan persamaan yang telah ditetapkan.

$$Eff = \frac{Q \times (hg - hf)}{q \times GCV} \quad (1)$$

$$Eff = \frac{4717,44 \times (651,36 - 134,22)}{1790,13 \times 9082} \times 100\%$$

$$Eff = 83,3 \%$$

### C. Perhitungan Efisiensi Boiler Metode Tidak Langsung (*indirect method*)

Langkah-langkah untuk menghitung efisiensi *fire tube boiler* dengan *indirect method* terdiri dari beberapa langkah. Tahap pertama adalah menghitung persentase kehilangan panas melalui gas buang kering (A). Selanjutnya, dilakukan perhitungan penguapan air yang dihasilkan dari reaksi hidrogen dalam bahan bakar (B). Kemudian, persentase kehilangan panas akibat kadar air dalam udara pembakaran (C) juga dihitung. Terakhir, seluruh kehilangan panas yang tidak dapat diukur secara langsung, seperti kehilangan panas akibat radiasi (D), juga diperhitungkan.

Data yang diperlukan dalam perhitungan efisiensi metode tidak langsung diperoleh dari hasil analisis laboratorium terhadap produk pembakaran boiler. Setelah nilai persentase kehilangan panas pada setiap komponen diperoleh, perhitungan efisiensi boiler dapat dilakukan menggunakan *indirect method*. Langkah-langkah perhitungan *indirect method* sebagai berikut:

- a. Menghitung persen kebutuhan udara teoritis (TA)

$$TA = \frac{[(11,43 \times C) + (34,5 \times (H_2 - \frac{O_2}{8})) + (4,32 \times S)]}{100} \quad (2)$$

$$TA = \frac{[(11,43 \times 73,64) + (34,5 \times (24,19 - \frac{1,3}{8})) + (4,32 \times 0)]}{100}$$

$$TA = 16,94\%$$

- b. Menghitung persen udara berlebih yang disuplai (EA)

$$EA = \frac{O_2\% \times 100}{21 - O_2\%} \quad (3)$$

$$EA = \frac{O_2\% \times 100}{21 - O_2\%}$$

$$EA = \frac{2,4 \times 100}{21 - 2,4} = 12,9\%$$

- c. Menghitung nilai aktual dari massa aliran udara yang dipasok /kg bahan bakar (AAS)

$$AAS = \left[ \frac{1+EA}{100} \right] \times \text{Udara Teoritis} \quad (4)$$

$$AAS = \left[ \frac{1 + 12,9}{100} \right] \times 16,94$$

$$AAS = 2,36$$

d. Menghitung total panas yang hilang (THL)

- Persentase kehilangan panas karena gas buang kering (Ldfg)

$$L_{dfg} = \frac{m \times Cp (Tf-Ta)}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100 \quad (5)$$

$$m = \text{Massa C} + \text{Massa S} + \text{Massa N}_2 + \text{Massa O}_2$$

$$m = \frac{0,738 \times 44}{12} + \frac{0 \times 64}{32} + \frac{0,85 \times 77}{100} + (0,24 \times 32)$$

$$m = 4,13 \text{ kg/kg bahan bakar}$$

$$L_{dfg} = \frac{4,13 \times 0,23 (183 - 30)}{9082} \times 100$$

$$L_{dfg} = 1,60 \%$$

- Persentase panas yang terbuang akibat pembentukan uap air dari hidrogen (H<sub>2</sub>) dalam bahan bakar (LH<sub>2</sub>)

$$L_{H2} = \frac{9 \times H_2 (584 + Cp (Tf-Ta))}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100 \quad (6)$$

$$L_{H2} = \frac{9 \times 24,22 \times (584 + 0,45 (183 - 30))}{9082} \times 100$$

$$L_{H2} = 15,67 \%$$

- Persentase kehilangan energi panas akibat kandungan uap air dalam udara (Lma)

$$L_{ma} = \frac{AAS \times \text{Faktor Kelembaban} \times Cp (Tf-Ta)}{GCV \text{ Bahan Bakar}} \times 100 \quad (7)$$

$$L_{ma} = \frac{2,36 \times 0,018 \times 0,45 (183 - 30)}{9082} \times 100$$

$$L_{ma} = 0,00032 \%$$

e. Effisiensi Boiler, *Indirect Method*

Setelah mengetahui nilai heat loss yang dicari, kita dapat mencari nilai efisiensi dengan metode tidak langsung dengan persamaan :

$$Eff = 100 - \text{Jumlah Heatloss} \quad (8)$$

$$Eff = 100 - (L_{dfg} + L_{H2} + L_{mf} + 2)$$

$$Eff = 100 - (1,60 + 15,67 + 0,00032 + 2)$$

$$Eff = 80,72\%$$

## D. Analisis Hasil

Dalam penelitian ini, efisiensi boiler tipe *fire tube* dievaluasi menggunakan metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung, meskipun memberikan nilai efisiensi, tidak mampu mengidentifikasi sumber-sumber inefisiensi secara spesifik. Oleh karena itu, metode tidak langsung diterapkan untuk menganalisis faktor-faktor kehilangan panas, seperti persentase kehilangan panas pada gas buang kering dan temperatur gas buang. Analisis ini memungkinkan identifikasi sumber-sumber kerugian yang signifikan, sehingga dapat dilakukan upaya perbaikan pada sistem boiler.

Nilai-nilai kuantitas panas (Q, q), entalpi (hf, hg), dan nilai kalor *gross* (GCV) yang diperlukan untuk menghitung nilai efisiensi menggunakan *direct method* disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan perhitungan menggunakan *direct method*, diperoleh efisiensi boiler *fire tube* sebesar 83,3%. Hasil ini mengindikasikan bahwa kinerja boiler masih berada dalam kategori yang dapat diterima. Hasil yang didapat dalam perhitungan efisiensi menggunakan *Indirect Method*

disajikan dalam Tabel 3. Data tersebut akan digunakan dalam proses perhitungan efisiensi termal boiler fire tube menggunakan metode *indirect method*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi boiler menggunakan metode ini adalah sebesar 80,73%.

Perhitungan efisiensi mesin boiler dengan metode tidak langsung dilakukan melalui beberapa tahapan yang melibatkan berbagai aspek penting dari sistem pembakaran. Pertama, dilakukan perhitungan kebutuhan udara teoritis yang menunjukkan bahwa sebanyak 16,94 kg udara per kg bahan bakar diperlukan untuk pembakaran sempurna. Angka ini diperoleh berdasarkan persentase kandungan karbon, hidrogen, dan oksigen yang terdapat dalam bahan bakar, yang dihitung menggunakan data lapangan. Selanjutnya, dihitung pula persentase udara berlebih yang disuplai (*Excess Air/EA*). Berdasarkan hasil perhitungan, sebesar 12,90% udara tambahan dibutuhkan untuk memastikan bahwa ada cukup oksigen yang tersedia dalam proses pembakaran dan pemanasan air di mesin boiler. Selain itu, massa udara yang disuplai per kilogram bahan bakar (AAS) dihitung dan diperoleh nilai sebesar 2,36%. Jumlah ini dianggap mencukupi untuk memastikan proses pembakaran yang efisien.

Dalam hal kehilangan panas, perhitungan menunjukkan bahwa persentase kehilangan energi dalam bentuk panas melalui gas buang kering sebesar 1,60%, yang masih berada dalam batas standar yang diizinkan yaitu  $\leq 12,7\%$ . Namun, ketika menghitung kehilangan panas akibat pembentukan uap air dari hidrogen dalam bahan bakar, diperoleh nilai sebesar 15,67% yang melebihi standar 8,1%. Meski demikian, nilai ini masih dapat diterima karena metode ini tidak dirancang untuk menganalisis titik kerugian selama operasi. Persentase kehilangan panas akibat kadar air dalam udara hanya sebesar 0,00032%, jauh di bawah batas maksimum yang diizinkan yaitu 0,3%, sehingga masih dalam batas aman. Terakhir, kehilangan panas akibat radiasi dan faktor lain yang tidak terhitung diperkirakan sebesar 2%, yang merupakan angka umum dalam perhitungan efisiensi pembakaran.

Hasil perhitungan efisiensi boiler di PT X menggunakan metode langsung adalah 83,3%, sedangkan metode tidak langsung menghasilkan nilai 80,73%. Dibandingkan dengan efisiensi desain awal sebesar 85%, metode tidak langsung menunjukkan penurunan efisiensi. Hal ini disebabkan karena metode tidak langsung memperhitungkan berbagai jenis kehilangan panas yang mungkin terjadi selama proses pembakaran.

Selisih hasil perhitungan efisiensi antara metode langsung dan tidak langsung disebabkan oleh perbedaan dalam cakupan perhitungan. Metode langsung hanya memperhitungkan energi *input* dan *output* utama, sehingga mengabaikan berbagai jenis kehilangan panas seperti panas buang, penguapan air, dan radiasi. Sebaliknya, metode tidak langsung secara komprehensif memperhitungkan semua potensi kehilangan panas. Oleh karena itu, metode tidak langsung dianggap lebih akurat dalam mengevaluasi efisiensi boiler.

#### 4. SIMPULAN

Metode langsung dan tidak langsung digunakan untuk menganalisa kinerja boiler. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa kinerja dari alat Boiler A sendiri mengalami penurunan. Ini dibuktikan dengan efisiensi aktual yang didapat sebesar 80,73%, sedangkan efisiensi desain adalah sebesar 85%. Faktor penyebab penurunan efisiensi Boiler A diantaranya yaitu boiler yang terdapat *fouling* / kerak yang menempel pada *tube-tube* nya, usia dari boiler sendiri yang sudah lama beroperasi dan banyak alat ukur / sensor yang tidak berfungsi atau bahkan tidak ada sehingga banyak data- data asumsi untuk perhitungan. Perlakuan yang dapat dilakukan dengan tujuan untuk menaikkan kinerja Boiler A antara lain, adanya pemanasan awal terhadap *Boiler Feed Water* dengan *economizer*, pengontrolan terhadap suhu cerobong (suhu yang lebih dari 200°C dapat berpotensi untuk pemanfaatan panas buangan), *maintenance* atau perbaikan rutin dengantujuan untuk perawatan Boiler, dan perlakuan lainnya.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Aprilia and H. Hardjono, "Penentuan Efisiensi Boiler Dengan Menggunakan Metode Langsung Di Pt X Lumajang," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 421–426, 2023, doi: 10.33795/distilat.v7i2.237.
- [2] 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, pp. 1–10, 2020.
- [3] M. Faisal, "Eksperimen Pembakaran dalam Boiler untuk Evaluasi Kinerja dan Emisi Menggunakan Bahan Bakar Padat Kelapa Sawit," *J. Serambi Eng.*, vol. IX, no. 3, pp. 10175–10183, 2024.
- [4] Asiva Noor Rachmayani, "Analisis Kehilangan Energi Pada Fire Tube Boiler Kapasitas 10 Ton". vol. 8, p. 6, 2015.
- [5] A. Shahab and S. Amna, "Efficiency Analysis of Fire Tube Boiler Type at Refinery Utility Unit," *J. Cakrawala Ilm.*, vol. 2, no. 7, pp. 3109–3118, 2023.
- [6] S. Winarto, "Perbandingan Efisiensi Pada Boiler Ii Twa Ppsdm Migas Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung Periode Bulan Maret 2023," *J. Nas. Pengelolaan Energi Migas Zoom*, vol. 5, no. 2, pp. 167–174, 2023, doi: 10.37525/mz/2023-2/549.
- [7] S. W. Dwi, Hardiyansyah, and I. Muhammad, "Analisis Perhitungan Efisiensi Boiler Kapasitas 55 Ton / Jam di PT PT . PJB ( Pembangkit Jawa Bali ) PLTU Ketapang 2X10 MW," *J. Tekini*, vol. 1, no. 2, pp. 3–7, 2017.
- [8] D. S. Widodo, R. Darmawan, and M. Aldila, "Evaluasi Heat Exchanger Dan Boiler Di Pt Salim Ivomas," no. April, 2024.
- [9] S. P. Wicaksana, A. Rahmatulloh, and R. Subandi, "Analisis Efisiensi Boiler Fire-Tube Pada Produksi Stpp Di Pt Petrocentral Gresik Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 9, no. 3, pp. 258–265, 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i3.3777.
- [10] Nahda Alifa Zahira Putri, Ika Yuliani, and Sri Widarti, "Pengaruh Pemakaian Jenis Bahan Bakar Terhadap Kinerja Boiler dengan Metode Langsung dan Tidak Langsung," *J. Surya Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 349–356, 2024, doi: 10.37859/jst.v11i1.7324.
- [11] M. I. Muis, "Evaluasi Kinerja Boiler Pltu Unit 1 Jeneponto," 2019.
- [12] N. T. Sahda, J. M. Sentosa, and L. Andhani, "Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang," *J. Eng. Environmental Energy Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 39–48, 2022, doi: 10.31599/tgptae14.
- [13] B. Sudia *et al.*, "Dinamika: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin EFISIENSI BOILER MENGGUNAKAN METODE HEAT LOSS : STUDI KASUS PLTU MORAMO," vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2022.
- [14] I. Muzaki and A. Mursadin, "ANALISIS EFISIENSI BOILER DENGAN METODE INPUT–OUTPUT DI PT. JAPFA COMFEED INDONESIA Tbk. UNIT BANJARMASIN," *Sci. J. Mech. Eng. Kinemat.*, vol. 4, no. 1, pp. 37–46, 2019, doi: 10.20527/sjme kinematika.v4i1.50.