

The Effect of Coal Calorific Value and Feed Water Rate on the Efficiency of a 10 Ton Capacity Fire Tube Boiler

[Pengaruh Nilai Kalor Batu Bara Dan Laju Feed Water Terhadap Efisiensi Boiler Fire Tube Kapasitas 10 Ton]

Muhammad Ibrahim¹⁾, Dr. A'rasy Fahrudin, S.T., M.T.²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: arasy.fahrudin@umsida.ac.id

Abstract. A boiler is an energy conversion system that uses heat from fuel combustion such as gas, diesel, or coal to convert water into pressurized steam. PT. XXX operates a coal-fired fire tube boiler to supply steam for coconut oil production. This study analyzed boiler efficiency using the direct method, based on logsheet data from February 3, 6, and 10, 2025 (24-hour operation), with coal LHV values of 24001, 22644, and 23121 kJ/kg. The highest efficiency, 87%, occurred at LHV 24001 kJ/kg, while the lowest, 54%, occurred at LHV 23121 kJ/kg. The analysis shows a linear trend where efficiency increases with higher coal calorific value and decreases when feed water and fuel consumption rises. Conversely, efficiency improves when feed water and fuel usage drops. This indicates that both coal quality and operational parameters like feed water flow significantly influence boiler performance..

Keywords - Boiler Efficiency; Coal, Lower Heating Value (LHV); Fire Tube Boiler; Feed Water Consumption

Abstrak. Boiler adalah sistem konversi energi yang menggunakan panas dari pembakaran bahan bakar seperti gas, solar, atau batu bara untuk mengubah air menjadi uap bertekanan. PT. XXX mengoperasikan boiler pipa api berbahan bakar batu bara untuk menyuplai uap dalam proses produksi minyak kelapa. Studi ini menganalisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung, berdasarkan data logsheet tanggal 3, 6, dan 10 Februari 2025 (operasi 24 jam), dengan nilai kalor rendah (LHV) batu bara masing-masing sebesar 24001, 22644, dan 23121 kJ/kg. Efisiensi tertinggi, sebesar 87%, terjadi pada LHV 24001 kJ/kg, sementara efisiensi terendah, sebesar 54%, terjadi pada LHV 23121 kJ/kg. Analisis menunjukkan tren linier, di mana efisiensi meningkat seiring dengan naiknya nilai kalor batu bara dan menurun ketika konsumsi air umpan dan bahan bakar meningkat. Sebaliknya, efisiensi meningkat saat penggunaan air umpan dan bahan bakar menurun. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas batu bara dan parameter operasional seperti aliran air umpan sangat memengaruhi kinerja boiler.

Kata Kunci - Efisiensi Boiler; Batu Bara, Nilai Kalor Rendah (LHV); Boiler Pipa Api; Konsumsi Air Umpan

I. PENDAHULUAN

Di era globalisasi banyak perusahaan memanfaatkan teknologi dari mesin konversi energi untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain. Pada perusahaan makan, minuman, minyak goreng dan lain – lain, banyak yang memanfaatkan energi panas sebagai proses penunjang produksi, pemanfaatan energi tersebut berupa mesin konversi energi yaitu mesin ketel uap. Boiler adalah perangkat konversi energi menggabungkan berbagai sistem dan peralatan dalam merubah energi kimia dari bahan bakar membentuk energi termal melewati proses oksidasi yang ada di *furnace* [1]. Proses oksidasi yaitu reaksi kimia terjadi pada oksigen dengan bahan terbakar sehingga menghasilkan panas [2]. Proses oksidasi dilakukan didalam ruang bakar terdapat udara panas yang dikombinasikan dengan abu terbang dan terak dasar dihasilkan ketika batu bara dibakar dalam ketel uap, dan panas yang dihasilkan akan mengubah air menjadi uap bertekanan. Boiler dapat menggunakan berbagai jenis bahan bakar, termasuk gas, cair (solar, residu), atau padat (batu bara) untuk menghasilkan uap[3]. Boiler terdapat beberapa jenis yaitu boiler *water tube* yang merupakan jenis ketel dimana pergerakan air berlangsung didalam beberapa pipa konduksi yang diliri panas dari aliran api dan gas buang panas yang mengelilingi permukaan luar pipa konduksi. Pipa konduksi ada di dalam ketel bisa berbentuk lurus dan juga melengkung, sesuai dengan jenis ketelnya. Beberapa pipa konduksi lurus ditempatkan secara sejajar didalam ketel uap dan dihubungkan dengan pipa header, yang tersambung ke ketel uap yang terpasang secara lurus datar di atas rangkaian pipa konduksi[4]. Selain itu, ada juga *fire tube* boiler, yang merupakan jenis ketel uap dimana gas panas dari proses pembakaran masuk ke dalam pipa konduksi khusus, sehingga memanaskan dan menguapkan air yang ada disekitar beberapa pipa. Beberapa pipa konduksi ini terendam dalam air yang teruapkan[5].

Boiler yang dipakai oleh PT. XXX berjenis *fire tube chain grate* berbahan bakar batu bara dengan kapasitas 10 ton. Uap (*steam*) yang dihasilkan mesin boiler tersebut nantinya di distribusikan ke beberapa divisi proses pengepresan kelapa dan pemurnian minyak. Batubara merupakan jenis bebatuan sedimen yang bisa terbakar, terbentuk

dari endapan bahan organik, terutama sisa – sisa tumbuhan, yang melalui proses pembatubaraan [6]. Batu bara adalah sumber energy fosil yang paling besar dan masih digunakan saat ini, dengan karakteristik dapat diperbarui [7]. Berbagai tipe batu bara memiliki nilai kalor yang beragam, seperti lignit 4000–5000 kkal/kg, bitumen 6000–7500 kkal/kg, sub-bitumen 5000–6000 kkal/kg, dan antrasit di atas 7500 kkal/kg[8]. Pemilihan kualitas batu bara dengan kandungan kalori tinggi dapat meningkatkan efisiensi boiler serta mempengaruhi kinerja boiler untuk menghasilkan uap secara kontinu. Efisiensi boiler merupakan indikator kinerja atau tingkat operasional yang diukur dari perbandingan terhadap energi panas yang diserap ke fluida kerja maupun yang diterima oleh fluida dalam boiler dengan energi termal yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar [9]. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi efisiensi boiler termasuk laju aliran massa, tingkat tekanan, serta temperatur uap yang masuk dan keluar dari boiler[2].

Sedangkan kualitas batu bara yang dibeli oleh di PT. XXX memiliki nilai kalori yang berbeda – beda yang dapat mempengaruhi kinerja proses pemanasan air didalam boiler serta mempengaruhi efisiensi boiler, serta menekan biaya operasional boiler. Dari permasalahan tersebut serta penjelasan hasil dari pengkajian mengenai analisa efisiensi boiler. Maka penelitian ini bertujuan menganalisa analisa kualitas batu bara dan laju *feed water* terhadap efisiensi boiler *fire tube* kapasitas 10 ton. Diharapkan dengan melakukan penelitian ini dapat mengetahui efisiensi dari boiler selama beroperasi.

II. METODE

2.1. Metode Penelitian

Penelitian ysnng dilakukan menggunakan metode Deskriptif kuantitatif, yang mendeskripsikan informasi mengenai berbagai aspek yang mempengaruhi nilai efisiensi boiler yaitu pengumpulan data meliputi (studi kasus, data spesifikasi boiler, data logsheet boiler, data nilai kalori batu bara), penyusunan data meliputi (pembuatan table data spesifikasi boiler, data logsheet boiler, data nilai kalori batu bara), diskripsi statistik meliputi (perhitungan efesiensi boiler dari pengumpulan data berupa nilai secara terukur). Hasil dari perhitungan, dianalisa menggunakan analisis statistik untuk mengidentifikasi pola dan tren yang terjadi pada nilai efisiensi boiler terhadap variabel penelitian, pola dan tren divisualisasikan berupa diagram dan grafik, sehingga dapat mengetahui penilaian dalam efesiensi seiring waktu.

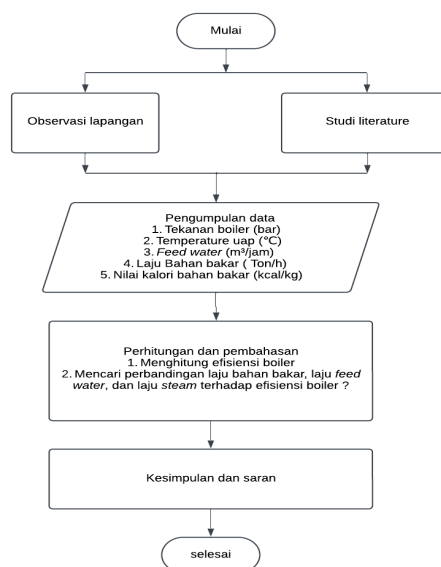
2.2. Tempat dan Objek Penelitian

Penelitian berlangsung di PT. XXX di Sidoarjo dengan objek penelitian yaitu mesin boiler jenis *fire tube* dengan kapasitas 10 ton berbahan bakar batu bara.

2.3. Variabel Penelitian

Variabel bebas yang digunakan penelitian ini yaitu hasil sampel batu bara dari laboratorium PT. XXX dengan 3 variasi kualitas batu bara yaitu 24001 kJ/kg, 22644 kJ/kg, 23121 kJ/kg, dan variabel terikat dalam penelitian ini, diukur kualitas batu bara, laju penggunaan batu bara, dan laju steam untuk menentukan nilai efisiensi boiler, dan variabel kontrol yang digunakan penelitian ini yaitu data dikumpulkan dari tiga variasi kualitas batubara yang berbeda dan laju steam dalam waktu tiga hari saat boiler beroperasi selama 24 jam.

2.4. Diagram Alur Penelitian



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

2.5. Pengambilan Data

informasi yang terkumpulkan untuk menentukan nilai efisiensi boiler, yaitu:

- Informasi detail boiler batu bara 10 ton
- Pengumpulan data logsheet boiler 10 ton dengan data yang diambil seperti tekanan boiler, temperatur air umpan, laju steam dan penggunaan bahan bakar, dibuat dalam bentuk tabel.

- **Tabel 1.** *Logsheet Boiler Tanggal 3 Februari 2025*

Logsheet					
Jam	P (Bar)	T uap (°C)	T air umpan (°C)	Batu Bara (Ton/jam)	Laju air umpan (m ³ /jam)
08.00	11,8	190,9	86,4	0,5	4,7
09.00	13,4	196,4	88,5	0,6	5,1
10.00	12,9	194,7	84	0,3	3,8
11.00	12,2	192,3	80,3	0,5	5,5
12.00	11,7	190,5	78	0,6	5,2
13.00	12,2	192,3	81,3	0,5	5
14.00	12,8	194,4	83	0,8	6,2
15.00	12,0	191,6	75	0,5	4,7
16.00	12,3	192,7	77,1	0,7	5,3
17.00	12,6	193,7	81,4	0,6	5,4
18.00	12,8	194,4	83,7	0,7	4,6
19.00	13,1	195,4	89,1	0,7	5,9
20.00	13,2	195,7	84,8	0,2	4,5
21.00	12,0	191,6	88,1	0,6	4,6
22.00	12,6	193,7	86,6	0,5	4,2
23.00	13,2	195,7	86,9	0,6	5,3
24.00	12,3	192,7	85	0,5	4,2
01.00	12,1	192,0	80,2	0,6	5,2
02.00	13,3	196,0	77,1	0,6	5,3
03.00	12,7	194,0	80,1	0,4	5

04.00	12,0	191,6	77,1	0,6	5,2
05.00	12,8	194,4	85,8	0,6	5,3
06.00	12,7	194,0	88	0,6	5,2
07.00	13,4	196,4	87,1	0,6	5,5

-
-

- **Tabel 2.** *Logsheets* Boiler Tanggal 6 Februari 2025

Logsheets					
Jam	P (Bar)	T uap (°C)	T air umpan (°C)	Batu Bara (Ton/jam)	Laju air umpan (m ³ /jam)
08.00	12,7	194,0	82,6	0,4	2,9
09.00	12,6	193,7	81,1	0,4	3,3
10.00	12,3	192,7	79,7	0,3	3
11.00	13,3	196,0	78,8	0,5	3,7
12.00	12,6	193,7	76,4	0,3	3,4
13.00	12,9	194,7	78,9	0,4	3,3
14.00	12,5	193,3	77,2	0,4	3,7
15.00	13,0	195,0	77,9	0,3	3
16.00	12,1	192,0	81,3	0,4	3,1
17.00	13,1	195,4	79,6	0,5	3,5
18.00	12,4	193,0	78,7	0,4	3
19.00	11,5	189,8	79,3	0,3	3,1
20.00	13,1	195,4	75,4	0,5	3,9
21.00	11,2	188,7	75,6	0,4	3
22.00	12,4	193,3	74,0	0,5	3,7
23.00	12,5	193,3	75,1	0,4	3,3
24.00	12,4	193,3	74,8	0,4	3,5
01.00	13,3	196,0	74,8	0,5	3,2

02.00	11,4	189,4	76,5	0,3	3,1
03.00	12,6	193,7	75,7	0,5	3,4
04.00	12,6	193,7	75,1	0,5	4
05.00	13,2	195,7	74,2	0,5	3,6
06.00	13,3	196,0	74,2	0,3	2,8
07.00	13,2	195,7	74,9	0,5	3,7

-
-

- **Tabel 3. Logsheet Boiler Tanggal 6 Februari 2025**

Logsheet					
Jam	P (Bar)	T uap (°C)	T air umpan (°C)	Batu Bara (Ton/jam)	Laju air umpan (m ³ /jam)
08.00	12,4	193,3	73,8	0,6	4,2
09.00	11,7	190,5	71,5	0,9	6,1
10.00	11,6	190,2	72	0,4	3,5
11.00	13,5	196,7	77,7	0,4	2,4
12.00	13,0	195,0	74,9	0,7	4,8
13.00	13,2	195,7	74,8	0,5	4,1
14.00	12,6	193,7	75,2	0,6	4
15.00	12,0	191,6	77,6	0,4	3,9
16.00	13,2	195,7	71,1	0,6	4,6
17.00	13,4	196,4	74,8	0,6	4,3
18.00	13,4	196,4	73	0,7	5
19.00	13,4	196,4	73,1	0,6	4,3
20.00	13,1	195,4	72,1	0,6	4,8
21.00	12,7	194,0	72,2	0,6	4,4
22.00	12,7	194,0	72,6	0,6	4,6
23.00	13,5	196,7	71,9	0,6	4,2

24.00	11,5	189,8	71,4	0,5	4,4
01.00	12,9	194,7	73,9	0,8	5,4
02.00	12,1	192,0	73,2	0,4	3,7
03.00	12,8	194,4	73,6	0,7	4,5
04.00	12,3	192,7	71,6	0,7	4,6
05.00	12,7	194,0	74	0,7	3,9
06.00	12,6	193,7	71,6	0,6	5,1
07.00	12,8	194,4	72,9	0,4	3,3

- Data kandungan LHV (nilai kalor pembakaran rendah) adalah jumlah panas yang diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar tanpa memperhitungkan energy berasal dari kondensasi uap air yang terbentuk selama proses tersebut [10] pada batu bara yang digunakan

Batu Bara I	Batu Bara II	Batu Bara III
24001 kJ/kg	22644 kJ/kg	23121 kJ/kg

2.6. Pengolahan Informasi

Analisis data dimulai setelah seluruh data operasi, parameter system boiler, dan informasi mengenai bahan bakar yang diperoleh. Selanjutnya, efisiensi boiler dihitung menggunakan metode langsung, dengan tahapan perhitungan sebagai berikut:

Perhitungan efisiensi boiler:

Efisiensi boiler (η) =

$$\frac{\text{panas yang dihasilkan boiler (output)}}{\text{panas yang masuk dari bahan bakar (input)}} \times 100\% \dots\dots\dots [9]$$

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_w (h_3 - h_2)}{\dot{m}_f \times LHV \text{ rata-rata}} \times 100\% \dots\dots\dots [11]$$

Dimana:

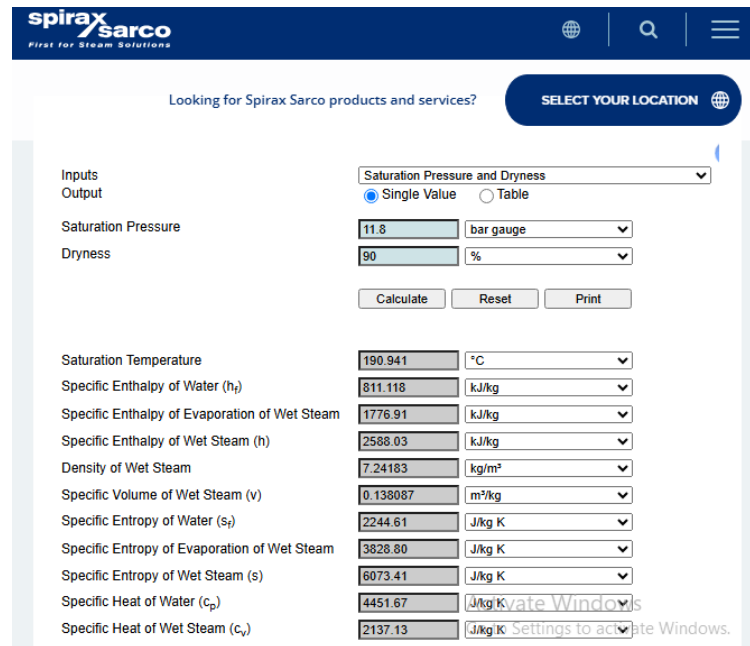
η_b	=	Efisiensi Boiler
$\dot{m}_w$	=	Produksi air umpan (<i>water</i>) (kg/Jam)
$\dot{m}_f$	=	Penggunaan bahan bakar (<i>fuel</i>) (kg/Jam)
h_2	=	Entalpy air umpan(<i>feed water</i>) (kJ/kg)
h_3	=	Entalpy uap(<i>steam</i>) (kJ/kg)
$LHV \text{ rata-rata}$	=	Nilai kalor pembakaran rendah (kJ/kg)

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengumpulan data sebelumnya, selanjutnya dilakukan proses analisis data. Tahap ini mencakup perhitungan efisiensi boiler menggunakan persamaan efisiensi yang berlaku. Perhitungan dilakukan berdasarkan contoh data dari *logsheet* tanggal 3 februari 2025.

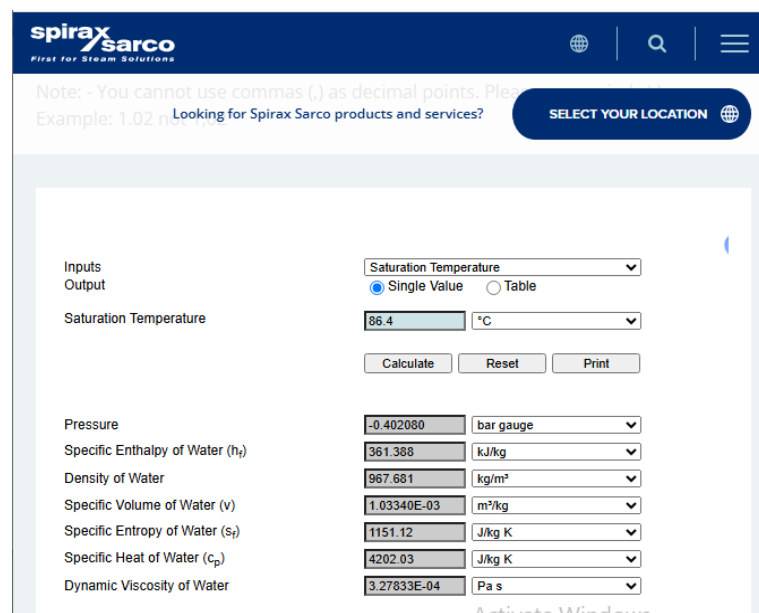
3.1 Nilai Entalpi

Berdasarkan Gambar 2. Menentukan nilai entalpi uap (h_3) dengan diketahui nilai T_{uap} : 190,9 °C dan P: 11,8 bar. Maka nilai entalpi uap (h_3), sebesar 2588,0 kJ/kg



Gambar 2. Mencari Nilai Entalpi Uap (h_3)

Berdasarkan Gambar 3 untuk mencari nilai entalpi air umpan (h_2), dengan diketahui nilai $T_{air\ umpan}$: 86,4 °C, Maka nilai entalpi air umpan (h_2), sebesar 361,3 kJ/kg:



Gambar 3. Mencari Nilai Entalpi Air Umpan (h_2)

Dari penggunaan aplikasi Spirax Sarco (*Steam Tables*), maka didapat nilai entalpi uap (h_3), nilai entalpi air umpan (h_2). Sebagai berikut:

Tabel 5. Nilai Entalpi

Jam	3 Februari 2025		6 Februari 2025		10 Februari 2025	
	h_3	h_2	h_3	h_2	h_3	h_2
08.00	2588	361,3	2591,4	345,4	2590,3	308,4
09.00	2593,8	370,2	2591	339,1	2587,6	289,8

10.00	2592,1	351,3	2589,9	310,1	2587,2	300,9
11.00	2589,5	335,7	2593,5	329,4	2594,2	324,8
12.00	2587,6	326,1	2591	319,3	2592,4	313
13.00	2589,5	339,9	2592,1	329,8	2593,1	312,6
14.00	2591,7	347,1	2590	322,7	2591	314,3
15.00	2588,8	313,5	2592,4	325,6	2588,8	300,9
16.00	2589,9	322,3	2589,1	339,9	2593,1	297,1
17.00	2591	340,3	2592,8	332,8	2593,8	312,6
18.00	2591,7	350	2593,8	329	2593,8	305,1
19.00	2592,8	372,7	2591	319,8	2593,8	305,5
20.00	2593,1	354,6	2592,8	315,1	2592,8	301,3
21.00	2588,8	368,5	2585,5	316	2591,4	301,7
22.00	2591	362,2	2590,3	309,3	2591,4	303,4
23.00	2593,1	363,4	2590	313,9	2594,2	300,5
24.00	2589,9	355,3	2590,3	312,6	2586,8	298,4
01.00	2589,1	335,3	2593,5	312,6	2592,1	308,9
02.00	2593,5	322,3	2586,4	319,8	2589,1	312,6
03.00	2591,4	334,9	2591	316,4	2591,7	307,6
04.00	2588,8	322,3	2591	313,9	2589,9	299,2
05.00	2591,7	358,8	2593,1	310,1	2591,4	309,3
06.00	2591,4	368,1	2593,5	329	2591	299,2
07.00	2593,8	364,3	2593,1	313	2591,7	304,7

3.2. Efisiensi boiler

Dalam menentukan nilai efisiensi boiler 10 ton, maka dilakukan perhitungan menggunakan rumus efisiensi boiler. Data yang diambil berdasarkan data tanggal 3 februari 2025 pada jam 08.00 wib, maka diperoleh: Diketahui.

$$\dot{m}_w = 4,7 \text{ (m}^3\text{/jam)} = 4547,72 \text{ kg/jam}$$

$$\dot{m}_f = 0,5 \text{ Ton/h} = 500 \text{ kg/jam}$$

$$h_3 = 2588 \text{ (kJ/kg)}$$

$$h_2 = 361,3 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\text{LHV} = 24001 \text{ (kJ/kg)}$$

Efisiensi boiler

$$\eta_b = \frac{\dot{m}_w (h_3 - h_2)}{\dot{m}_f \times \text{LHV rata-rata}} \times 100\%$$

$$\eta_b = \frac{4547,72 \frac{\text{kg}}{\text{h}} (2588 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 361,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})}{500 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 24001 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \times 100\%$$

$$\eta_b = \frac{10126408,1}{12000500} \times 100\%$$

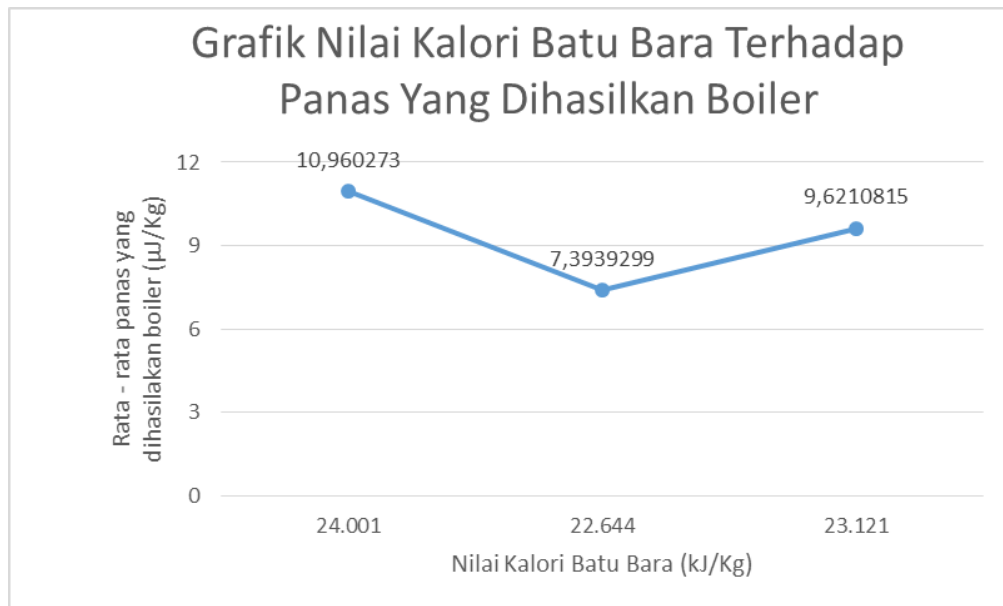
$$\eta_b = 84 \%$$

Berdasarkan perhitungan nilai efisiensi boiler yang telah dilakukan menggunakan data logsheet pada boiler 10 ton, maka efisiensi sebagai berikut:

Tabel 6. Efisiensi Boiler

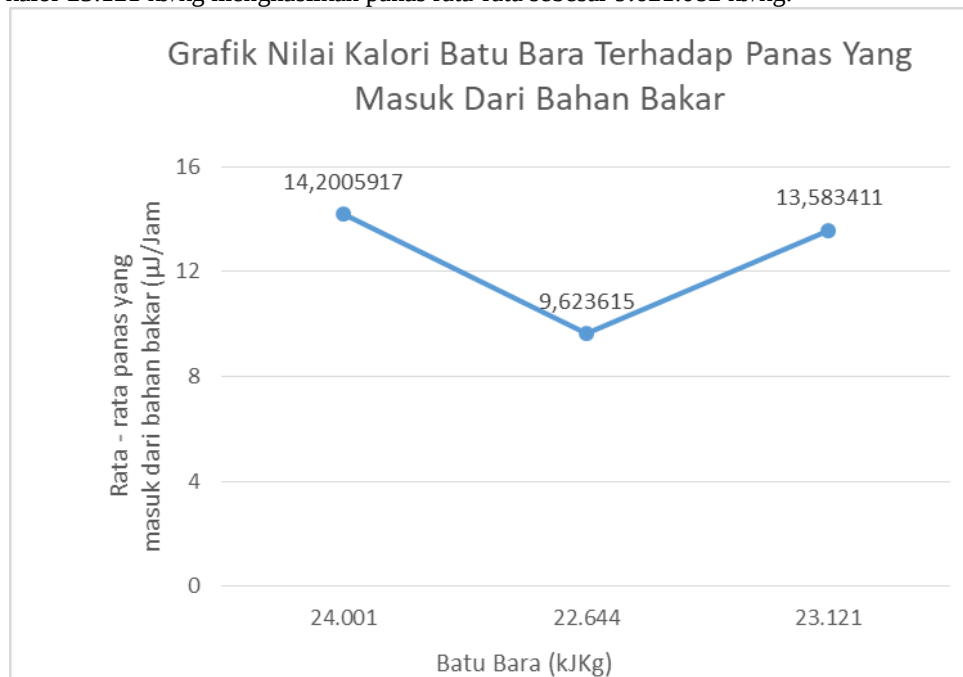
Jam	3 Februari 2025	6 Februari 2025	10 Februari 2025
08.00	84%	70%	67%
09.00	76%	80%	66%
10.00	86%	76%	84%
11.00	84%	72%	76%
12.00	79%	83%	66%
13.00	76%	80%	79%
14.00	70%	72%	64%
15.00	87%	78%	87%
16.00	70%	75%	74%
17.00	82%	68%	69%
18.00	59%	73%	69%
19.00	75%	78%	69%
20.00	81%	76%	77%
21.00	69%	73%	71%
22.00	75%	73%	74%
23.00	79%	81%	68%
24.00	76%	86%	85%
01.00	79%	63%	65%
02.00	81%	76%	82%
03.00	76%	67%	62%
04.00	80%	78%	64%
05.00	80%	71%	54%
06.00	78%	81%	82%
07.00	82%	73%	80%

Analisa pembahasan dilakukan berdasarkan hasil analisis dari data yang telah diolah sebelumnya. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi serta pemahaman terhadap tren maupun perbandingan yang ada. Visualisasi data ditampilkan dalam grafik berikut:



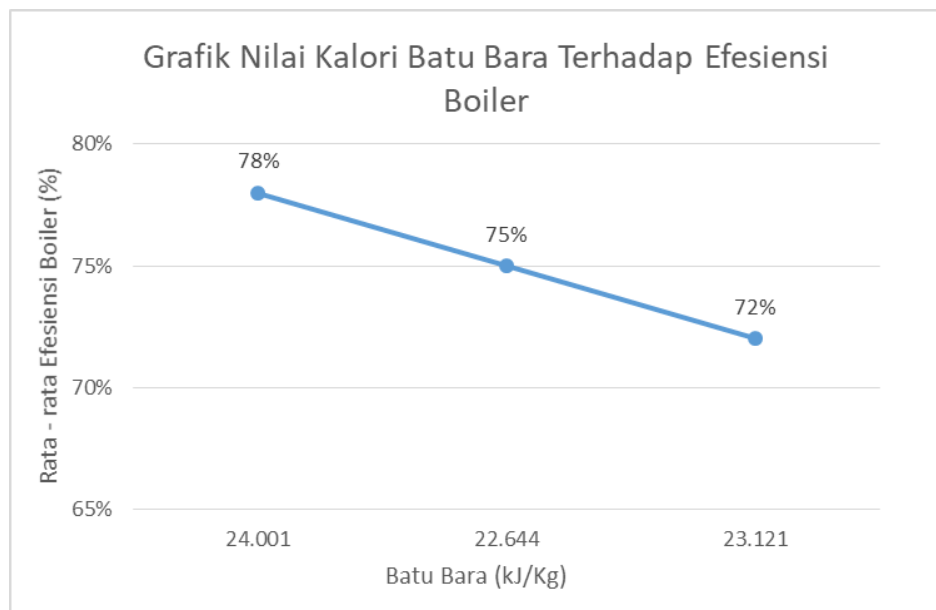
Gambar 4. Grafik Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Panas Yang Dihasilkan Boiler

Berdasarkan **gambar 4**. Terlihat bahwa nilai kalor batu bara berpengaruh terhadap panas yang dihasilkan oleh boiler. Nilai kalor tertinggi sebesar 24.001 kJ/kg menghasilkan panas rata-rata sebesar 10.960.273 kJ/kg. Sementara itu, batu bara dengan nilai kalor 22.644 kJ/kg menghasilkan panas rata-rata sebesar 7.393.930 kJ/kg, dan batu bara dengan nilai kalor 23.121 kJ/kg menghasilkan panas rata-rata sebesar 9.621.082 kJ/kg.



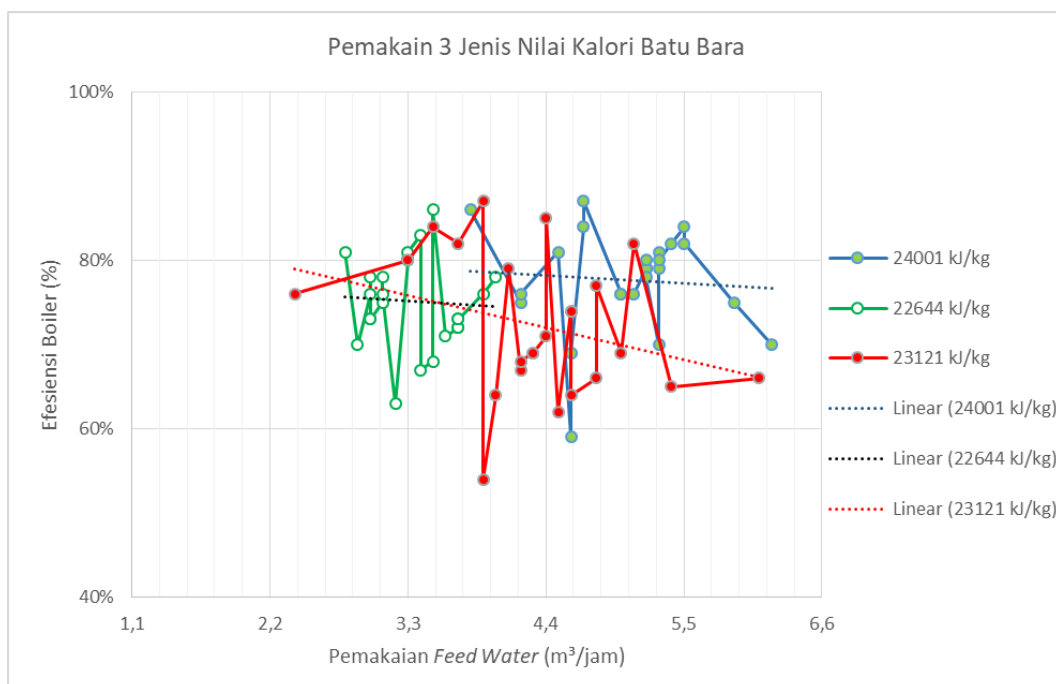
Gambar 5. Grafik Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Panas Yang Masuk Dari Bahan Bakar

Berdasarkan **gambar 5**. menunjukkan bahwa nilai kalori batu bara terhadap panas yang masuk dari bahan bakar tertinggi pada kalori batu bara 24.001 kJ/Kg menghasilkan rata – rata panas sebesar 14.200.592 kJ/Kg. Untuk nilai kalori batu bara 22.644 kJ/Kg menghasilkan rata – rata panas sebesar 9.623.615 kJ/Kg, dan untuk nilai kalori 23.121 kJ/Kg menghasilkan rata – rata panas sebesar 13.583.411 kJ/Kg.



Gambar 6. Grafik Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Efisiensi Boiler

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi boiler yang ditampilkan pada Gambar 6, terlihat hubungan antara nilai kalori batu bara dengan tingkat efisiensi boiler. Nilai kalor batu bara sebesar 24.001 kJ/kg memberikan efisiensi tertinggi, dengan rata-rata mencapai 78%. Sementara itu, nilai kalor sebesar 22.644 kJ/kg menghasilkan efisiensi rata-rata sebesar 75%, dan nilai kalor 23.121 kJ/kg menunjukkan efisiensi terendah dengan rata-rata sebesar 72%. Gambar 6 memperlihatkan nilai kalori batu bara adalah salah satu penyebab yang memengaruhi performa efisiensi boiler. kalkulasi efisiensi dilakukan dengan menggunakan metode langsung, yaitu dengan menghitung secara langsung berdasarkan data seperti tekanan kerja boiler, suhu uap, suhu air umpan, jumlah konsumsi batu bara, serta laju aliran air umpan.



Gambar 7. Grafik Efisiensi Boiler Terhadap Penggunaan 3 Jenis Nilai Kalor Batu Bara

Pada **gambar 7** bahwa tren statistik penggunaan 3 jenis nilai kalori batu bara dengan menunjukkan hubungan antara penggunaan *feed water* (m³/jam) dengan efisiensi boiler (%) sebagai berikut untuk nilai kalori 24.001 kJ/kg

dengan penggunaan *feed water* 3,8 – 6,2 m³/jam dengan efisiensi 59% - 87% memiliki efisiensi boiler yang cenderung stabil dan tinggi, tren linier menunjukkan sedikit penurunan efisiensi seiring bertambahnya penggunaan *feed water*. Nilai kalori 23.121 kJ/kg dengan penggunaan *feed water* 2,4 – 6,1 m³/jam dengan efisiensi 54% - 87% memiliki efisiensi yang rendah, mengalami naik turun yang tajam, tren linear menunjukkan penurunan signifikan, yang menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan *feed water*, efisiensi boiler cenderung menurun secara tajam. Nilai kalori 22.644 kJ/kg dengan penggunaan *feed water* 2,8 – 4 m³/jam dengan efisiensi 63% - 86% memiliki efisiensi yang relatif stabil, tren linear menunjukkan sedikit penurunan, meskipun tidak terlalu tajam

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan bahwa nilai efisiensi water tube boiler berbahan bakar batu bara sebagai berikut:

- Dengan nilai LHV batu bara sebesar 24001 kJ/kg, menghasilkan nilai efisiensi boiler tertinggi yaitu dengan nilai 87 % pada penggunaan laju *feed water* 4,7 m³/jam, dan nilai efisiensi boiler terendah yaitu dengan nilai 59 % pada penggunaan laju *feed water* 4,6 m³/jam.
- Dengan nilai LHV batu bara sebesar 22644 kJ/kg, menghasilkan nilai efisiensi boiler tertinggi yaitu dengan nilai 86 % pada penggunaan laju *feed water* 3,5 m³/jam, dan nilai efisiensi boiler terendah yaitu dengan nilai 63 % pada penggunaan laju *feed water* 3,2 m³/jam.
- Dengan nilai LHV batu bara sebesar 23121 kJ/kg, menghasilkan nilai efisiensi boiler tertinggi yaitu dengan nilai 87 % pada penggunaan laju *feed water* 3,9 m³/jam, dan nilai efisiensi boiler terendah yaitu dengan nilai 54 % pada penggunaan laju *feed water* 3,9 m³/jam.
- Dari hasil hubungan efisiensi boiler terhadap penggunaan laju *feed water* yang memakai 3 jenis nilai kalori batu bara 24001 kJ/kg, 22644 kJ/kg, 23121 kJ/kg ditunjukkan dengan tren linier menunjukkan penurunan efisiensi boiler meskipun tidak signifikan yang disebabkan peningkatan laju *feed water*. cenderung menurunkan efisiensi boiler, serta faktor lain dari peningkatan penggunaan bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo atas pengetahuan dan pemahaman yang telah diberikan, dan kepada seluruh rekan - rekan yang telah memberikan dukungan selama proses penyelesaian penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. FARRAS and R. D. III, "Effectiveness Analysis of Secondary Superheater Power Generation Unit 4 Pt. Pjb Up Gresik With Variation of Load," *Repository.Its.Ac.Id*, 2015, [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/63249/1/2112030023-Undergraduate.pdf>
- [2] M. V. Fadli and A'asy Fahrudin, "The Effect of Mini Boiler Fire Pipe Diameter Variations on Steam Power and Efficiency," *Procedia Eng. Life Sci.*, vol. 1, no. 1, 2021, doi: 10.21070/pels.v1i1.831.
- [3] F. Q. Nada, "PENGARUH KUALITAS BATU BARA TERHADAP EFISIENSI BOILER UNIT UTILITAS BATU BARA PT PETROKIMIA GRESIK MENGGUNAKAN METODE INDIRECT/ HEAT LOSS MENGACU PADA ASME PTC 4," *J. Tek. Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 29–38, 2023, [Online]. Available: <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484>
- [4] K. Rahmawati, *Perancangan Desain Boiler Pada Mini Plant Steam Engine Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. 2018.
- [5] 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/sjmekinekinematika.v4i1.50.
- [6] M. Bakri, "Penerapan Data Mining untuk Clustering Kualitas Batu Bara dalam Proses Pembakaran di PLTU Sebalang Menggunakan Metode K-Means," *J. Teknoinfo*, vol. 11, no. 1, p. 6, 2017, doi: 10.33365/jti.v11i1.3.
- [7] S. Dermawan and A. Fahrudin, "Utilization of Simplek Pineapple Skin Waste as Bioethanol Wite the Distillation Method Used on Variation of Yeast Mass and Fermentation Time [Pemanfaatan Limbah Kulit Nanas Simplek Sebagai Bioetanol Dengan Metode Alat Destilasi Yang Digunakan Terhadap Va," pp. 1–9.
- [8] Tanti, "PENINGKATAN NILAI KALORI BATUBARA SUB- BITUMINUS MUARO BUNGO - JAMBI

- DENGAN METODE AGLOMERASI AIR – MINYAK BUMI,” Universitas Indonesia, 2008.
- [9] I. Santiatma, “Pemodelan dan Analisa Boiler Menggunakan Kesenjangan Massa dan Energi,” *Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, p. 90, 2017.
- [10] Laili Budi Hartanto, Maradu Sibarani, and J. Victor Tuapetel, “Analisa Teknis dan Biaya Penggunaan Bahan Bakar Cangkang Kelapa Sawit dan Batu Bara pada Boiler DZL4 di PT. Lautan Luas Tbk.,” *J. Tek. Mesin – Iti*, vol. Vol. 4 No., no. 1, pp. 17–23, 2020.
- [11] N. M. Pratama, Danial, and M. Taufiqurrahman, “Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Dengan Menggunakan Metode Langsung,” *J. Teknol. Rekayasa Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 105–110, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jtm/article/view/48393>

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.