

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

Oleh:

Muhammad Ibrahim

A'rasy Fahrudin

Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Juni, 2025



Pendahuluan

- Pemanfaatan teknologi mesin konversi energi berupa energi termal oleh beberapa perusahaan
- PT. Golden Union Oil memanfaatkan energi termal berupa mesin boiler
- Nilai kalori beberapa jenis batubara yang dipakai beberapa perusahaan (bituminous 6000-7500 kkal/kg, sub bituminus 5000-6000 kkal/kg)
- Kualitas nilai kalori batu bara yang berbeda - beda dibeli perusahaan PT. Golden Union Oil mempengaruhi efisiensi boiler
- Maka penelitian ini bertujuan menganalisa kualitas batu bara dan laju *steam* terhadap efisiensi boiler *fire tube* selama beroperasi dalam upaya peningkatan efisiensi boiler menghindari pemborosan energi

(Rumusan Masalah)

Rumusan Masalah

- Bagaimana cara menentukan nilai efisiensi boiler selama beroperasi?
- Bagaimana perbandingan kualitas batu bara dan laju *steam* terhadap efisiensi boiler *fire tube* selama beroperasi?

Tujuan

- Menentukan nilai efisiensi boiler selama beroperasi berdasarkan data yang diambil dan perhitungan teoritis
- Mengetahui perbandingan kualitas batu bara dan laju *steam* terhadap efisiensi boiler *fire tube* selama beroperasi

Metode

- Metode Penelitian : 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 efisiensi 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 efisiensi seiring waktu

Metode

- Tempat dan Objek Penelitian:

Boiler jenis *fire tube* ber kapasitas 10 ton berbahan bakar batu bara di PT. xxx

- Variabel Penelitian:

Variabel bebas penelitian ini adalah 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 pemakaian batu bara, dan laju steam untuk menentukan nilai efisiensi boiler, dan variabel kontrol dalam penelitian ini adalah data dikumpulkan dari tiga variasi kualitas batubara yang berbeda dan laju steam dalam waktu tiga hari saat boiler beroperasi selama 24 jam

Metode

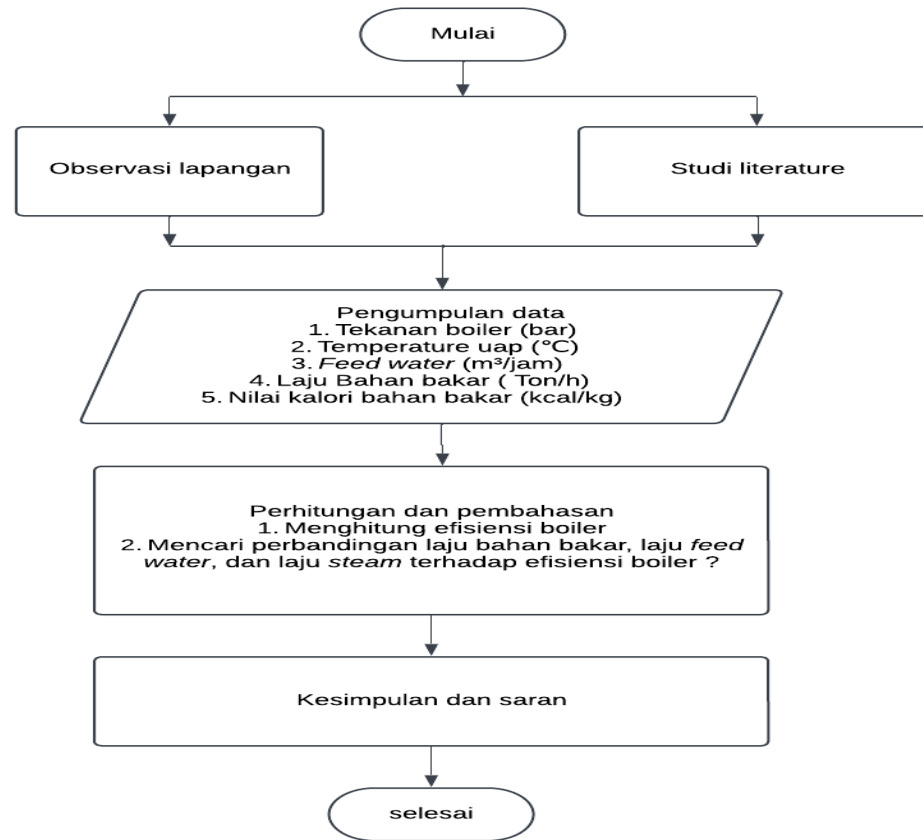


Diagram Alur Penelitian

Metode

Pengambilan Data :

- Data spesifikasi boiler batu bara 10 ton

Spesifikasi Boiler	
Jenis boiler	Fire Tube Boiler (Pipa Api)
Manufaktur	ACTOM tipe TU 1050
Bahan bakar	Batu bara
Maksimal panas keluar	6582 Kw
Kapasitas boiler	10 ton/jam
Tekanan pengoperasian	16.0 bar/ 1600 kPa
Tekanan maksimal	17.25 bar/1725 kPa
Suhu operasional	204°C
Suhu maks yang diijinkan	208°C
Kapasitas air	33,80 m ³

Metode

Pengambilan Data :

- Pengumpulan data logsheet boiler 10 ton dengan data yang diambil seperti tekanan boiler, temperatur air umpan, steam flow dan pemakaian bahan bakar, dibuat dalam bentuk tabel.

Tabel 1. Logsheat Boiler Tanggal 3 Februari 2025

P (Bar)	T (Uap) (°C)	T (Air umpan) (°C)	Batu bara (Ton/jam)	Steam Flow (m³/jam)
11,8	190,9	86,4	0,5	4,7
13,4	196,4	88,5	0,6	5,1
12,9	194,7	84	0,3	3,8
12,2	192,3	80,3	0,5	5,5
11,7	190,5	78	0,6	5,2
12,2	192,3	81,3	0,5	5
12,8	194,4	83	0,8	6,2
12,0	191,6	75	0,5	4,7
12,3	192,7	77,1	0,7	5,3
12,6	193,7	81,4	0,6	5,4
12,8	194,4	83,7	0,7	4,6
13,1	195,4	89,1	0,7	5,9
13,2	195,7	84,8	0,2	4,5
12,0	191,6	88,1	0,6	4,6
12,6	193,7	86,6	0,5	4,2
13,2	195,7	86,9	0,6	5,3
12,3	192,7	85	0,5	4,2
12,1	192,0	80,2	0,6	5,2
13,3	196,0	77,1	0,6	5,3
12,7	194,0	80,1	0,4	5
12,0	191,6	77,1	0,6	5,2
12,8	194,4	85,8	0,6	5,3
12,7	194,0	88	0,6	5,2
13,4	196,4	87,1	0,6	5,5

Tabel 2. Logsheat Boiler Tanggal 6 Februari 2025

P (Bar)	T (Uap) (°C)	T (Air umpan) (°C)	Batu bara (Ton/jam)	Steam Flow (m³/jam)
12,7	194,0	82,6	0,4	2,9
12,6	193,7	81,1	0,4	3,3
12,3	192,7	79,7	0,3	3
13,3	196,0	78,8	0,5	3,7
12,6	193,7	76,4	0,3	3,4
12,9	194,7	78,9	0,4	3,3
12,5	193,3	77,2	0,4	3,7
13,0	195,0	77,9	0,3	3
12,1	192,0	81,3	0,4	3,1
13,1	195,4	79,6	0,5	3,5
12,4	193,0	78,7	0,4	3
11,5	189,8	79,3	0,3	3,1
13,1	195,4	75,4	0,5	3,9
11,2	188,7	75,6	0,4	3
12,4	193,3	74,0	0,5	3,7
12,5	193,3	75,1	0,4	3,3
12,4	193,3	74,8	0,4	3,5
13,3	196,0	74,8	0,5	3,2
11,4	189,4	76,5	0,3	3,1
12,6	193,7	75,7	0,5	3,4
12,6	193,7	75,1	0,5	4
13,2	195,7	74,2	0,5	3,6
13,3	196,0	74,2	0,3	2,8
13,2	195,7	74,9	0,5	3,7

Tabel 3. Logsheat Boiler Tanggal 10 Februari 2025

P (Bar)	T (Uap) (°C)	T (Air umpan) (°C)	Batu bara (Ton/jam)	Steam Flow (m³/jam)
12,4	193,3	73,8	0,6	4,2
11,7	190,5	71,5	0,9	6,1
11,6	190,2	72	0,4	3,5
13,5	196,7	77,7	0,4	2,4
13,0	195,0	74,9	0,7	4,8
13,2	195,7	74,8	0,5	4,1
12,6	193,7	75,2	0,6	4
12,0	191,6	77,6	0,4	3,9
13,2	195,7	71,1	0,6	4,6
13,4	196,4	74,8	0,6	4,3
13,4	196,4	73	0,7	5
13,4	196,4	73,1	0,6	4,3
13,1	195,4	72,1	0,6	4,8
12,7	194,0	72,2	0,6	4,4
12,7	194,0	72,6	0,6	4,6
13,5	196,7	71,9	0,6	4,2
11,5	189,8	71,4	0,5	4,4
12,9	194,7	73,9	0,8	5,4
12,1	192,0	73,2	0,4	3,7
12,8	194,4	73,6	0,7	4,5
12,3	192,7	71,6	0,7	4,6
12,7	194,0	74	0,7	3,9
12,6	193,7	71,6	0,6	5,1
12,8	194,4	72,9	0,4	3,3

Metode

Pengambilan Data :

- Data kandungan LHV (Nilai Kalor Pembakaran Rendah) pada batu bara yang digunakan

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

Metode

Teknik Pengolahan Data:

- Perhitungan efisiensi boiler ini menggunakan metode langsung, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi boiler } (\eta) = \frac{\text{panas yang dihasilkan boiler (output)}}{\text{panas yang masuk dari bahan bakar (input)}} \times 100\%$$
$$\eta_b = \frac{\dot{m}_w (h_3 - h_2)}{\dot{m}_f \times LHV \text{ rata - rata}} \times 100\%$$

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

Hasil

- 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.

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
- 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:

Hasil

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	20.00	2593,1	354,6	2592,8	315,1	2592,8	301,3
09.00	2593,8	370,2	2591	339,1	2587,6	289,8	21.00	2588,8	368,5	2585,5	316	2591,4	301,7
10.00	2592,1	351,3	2589,9	310,1	2587,2	300,9	22.00	2591	362,2	2590,3	309,3	2591,4	303,4
11.00	2589,5	335,7	2593,5	329,4	2594,2	324,8	23.00	2593,1	363,4	2590	313,9	2594,2	300,5
12.00	2587,6	326,1	2591	319,3	2592,4	313	24.00	2589,9	355,3	2590,3	312,6	2586,8	298,4
13.00	2589,5	339,9	2592,1	329,8	2593,1	312,6	01.00	2589,1	335,3	2593,5	312,6	2592,1	308,9
14.00	2591,7	347,1	2590	322,7	2591	314,3	02.00	2593,5	322,3	2586,4	319,8	2589,1	312,6
15.00	2588,8	313,5	2592,4	325,6	2588,8	300,9	03.00	2591,4	334,9	2591	316,4	2591,7	307,6
16.00	2589,9	322,3	2589,1	339,9	2593,1	297,1	04.00	2588,8	322,3	2591	313,9	2589,9	299,2
17.00	2591	340,3	2592,8	332,8	2593,8	312,6	05.00	2591,7	358,8	2593,1	310,1	2591,4	309,3
18.00	2591,7	350	2593,8	329	2593,8	305,1	06.00	2591,4	368,1	2593,5	329	2591	299,2
19.00	2592,8	372,7	2591	319,8	2593,8	305,5	07.00	2593,8	364,3	2593,1	313	2591,7	304,7

Hasil

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

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

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

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

$$\eta_b = 84 \%$$

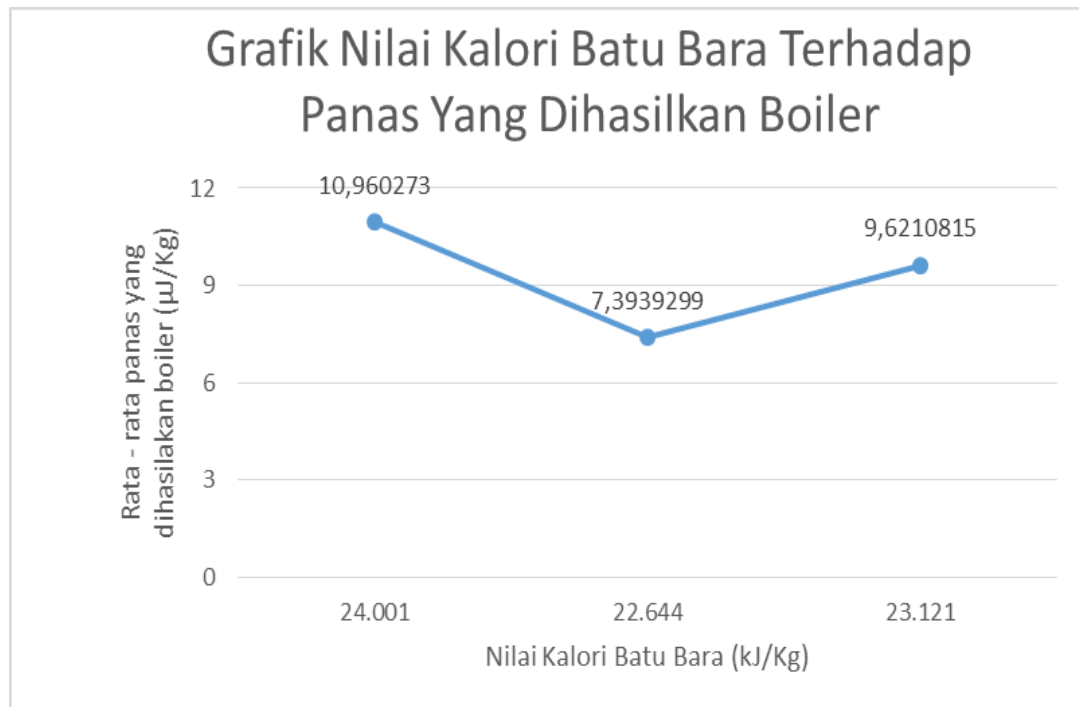
Hasil

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

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

Pembahasan

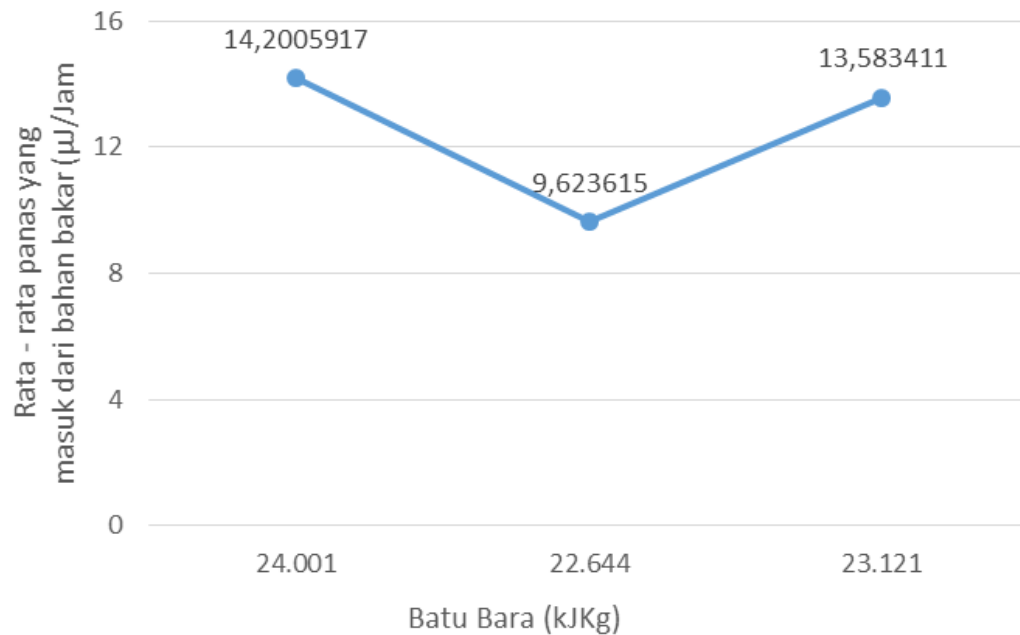
Analisa pembahasan dilakukan berdasarkan hasil analisis dari data yang telah diolah sebelumnya. Data tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik guna mempermudah interpretasi serta pemahaman terhadap tren maupun perbandingan yang ada. Visualisasi data ditampilkan dalam grafik berikut:



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.

Pembahasan

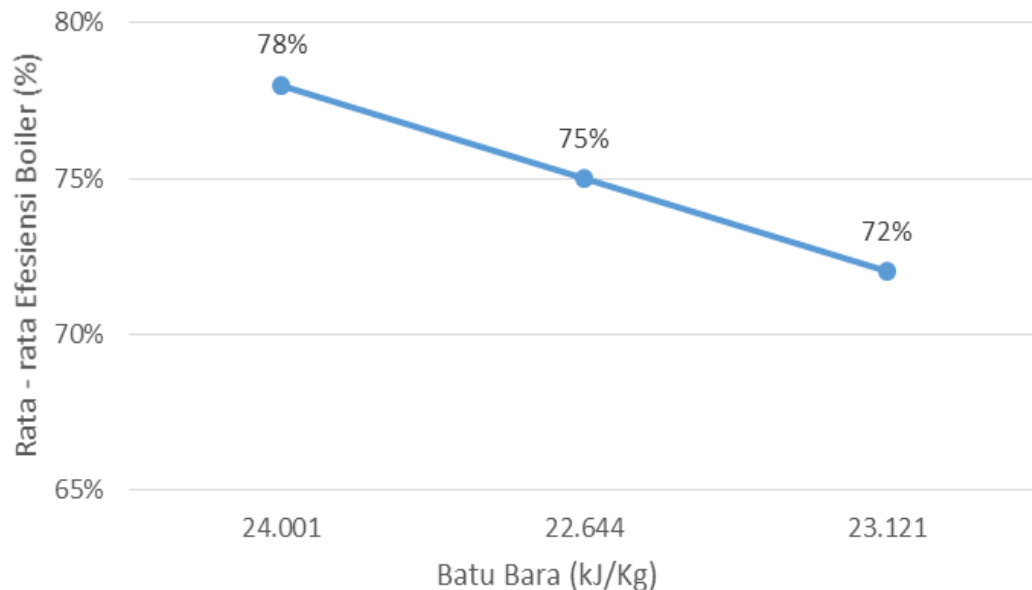
Grafik Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Panas Yang Masuk Dari Bahan Bakar



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

Pembahasan

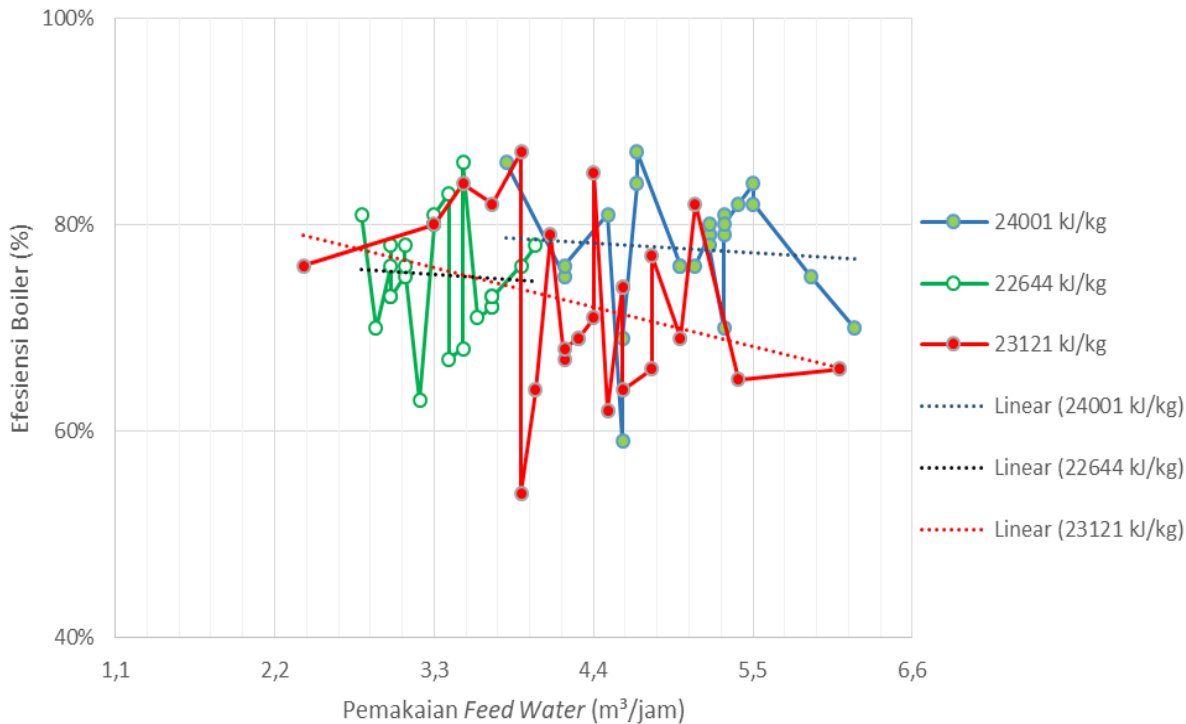
Grafik Nilai Kalori Batu Bara Terhadap Efisiensi Boiler



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.

Pembahasan

Pemakaian 3 Jenis Nilai Kalori Batu Bara



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 59% - 87% memiliki efisiensi boiler yang cenderung **stabil** dan tinggi, tren linier menunjukkan sedikit **penurunan** efisiensi seiring bertambahnya penggunaan *feed water*. 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

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan bahwa nilai efesiensi 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 efesiensi boiler terhadap penggunaan laju *feed water* yang memakai 3 jenis nilai kalori batu bara 24001 kJ/kg, 22644 kJ/kg, 23121 kJ/kg ditunjukan 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.

Manfaat Penelitian

Manfaat

- Dapat mengetahui nilai efisiensi boiler jenis *fire tube chain grate* kapasitas 10 ton berbahan bakar batu bara pada saat beroperasi di PT. XXX.
- Menambah wawasan dan pengetahuan bagi penulis maupun pembaca tentang boiler, cara menentukan nilai efisiensi boiler serta dapat dijadikan sebagai literatur dalam penelitian berikutnya terkait efisiensi pada boiler *fire tube* terhadap laju bahan bakar batu bara, laju *feed water* dan laju *steam* selama beroperasi
- Dapat dijadikan sebagai acuan dan bahan evaluasi bagi Devisi boiler untuk tetap meningkatkan dan mempertahankan efisiensi boiler di PT. XXX.

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'rasy 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*
- [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/sjmekinematika.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.

Referensi

- [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 Keseimbangan 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 KelapaSawit 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>

