ANALISA EFISIENSI BOILER PIPA API KAPASITAS UAP 30 TPH BERBAHAN BAKAR NATURAL GAS

Zein Muhamad, Riza Muhida, Erry Yulian T Adesta, Muhammad Riza, Indra Surya, Bambang Pratowo, Kunarto, Harjono Saputro, Mulyana, Muhammad Revanza

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,Universitas Bandar Lampung, Bandar Lampung, 35143, Indonesia
Email: zein.muhamad@ubl.ac.id
Email: revanvanza@gmail.com

Abstract. Boiler merupakan peralatan yang berperan penting dalam penyediaan energi panas pada berbagai mekanisme sistem pembangkit tenaga. Kinerja boiler sangat mempengaruhi efisiensi penggunaan energi, konsumsi bahan bakar, serta kelancaran proses produksi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik bahan bakar natural gas, mengevaluasi kinerja boiler pipa api kapasitas 30 ton, serta menghitung nilai efisiensi boiler menggunakan metode langsung (direct method). Penelitian dilakukan dengan menggunakan data operasional boiler yang meliputi laju produksi uap, tekanan uap, temperatur uap, temperatur air umpan, dan konsumsi bahan bakar natural gas. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan pendekatan analisis operasional berdasarkan data aktual yang diperoleh dari logsheet pengoperasian boiler. Perhitungan efisiensi dilakukan menggunakan metode analitik dengan membandingkan energi yang diserap oleh air untuk menghasilkan uap terhadap energi yang terkandung dalam bahan bakar natural gas yang digunakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan natural gas sebagai bahan bakar mampu menghasilkan proses pembakaran yang stabil dan efisien karena memiliki kandungan metana yang tinggi serta nilai kalor yang besar. Berdasarkan hasil perhitungan, efisiensi boiler berada pada kisaran 77% hingga 85%, dengan nilai rata-rata yang menunjukkan bahwa boiler masih beroperasi dalam kondisi yang baik dan mampu mendukung kebutuhan energi panas pada proses industri. Selain itu, parameter operasional seperti laju aliran uap, temperatur air umpan, dan konsumsi bahan bakar terbukti mempengaruhi tingkat efisiensi boiler selama proses operasi berlangsung. Berdasarkan hasil analisa dapat disimpulkan bahwa boiler pipa api kapasitas 30 ton berbahan bakar natural gas masih memiliki performa yang baik dalam menghasilkan uap.

Kata Kunci : Boiler pipa api, natural gas, efisiensi boiler, energi panas.

.

1 Pendahuluan

Dengan perkembangan sektor industri saat ini menuntut proses produksi yang semakin efisien, cepat, dan berkelanjutan. Salah satu aspek penting dalam kegiatan industri adalah ketersediaan energi panas yang stabil dan dapat dikontrol dengan baik. Energi panas tersebut umumnya digunakan dalam berbagai proses, seperti pemanasan bahan baku, pemanasan penyimpanan di tanki, pengeringan, sterilisasi, hingga proses pengolahan produk. Dalam banyak industri, kebutuhan energi panas tersebut dipenuhi melalui penggunaan boiler yang berfungsi untuk menghasilkan uap atau air panas sebagai media perpindahan panas dalam proses produksi. [1]

Boiler merupakan salah satu peralatan utama dalam sistem pembangkit energi panas di lingkungan industri. Kinerja boiler sangat berpengaruh terhadap kelancaran proses produksi karena kualitas dan kuantitas uap yang dihasilkan akan menentukan stabilitas proses pemanasan. Apabila kinerja boiler tidak optimal, maka konsumsi bahan bakar akan meningkat, efisiensi sistem menurun, dan biaya operasional industri menjadi lebih besar. Oleh karena itu, analisa terhadap kinerja boiler menjadi hal penting untuk dilakukan guna memastikan bahwa sistem bekerja secara efektif dan efisien.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran terhadap penggunaan energi yang lebih bersih dan ramah lingkungan, banyak industri mulai bersih menggunakan bahan bakar yang memiliki tingkat emisi lebih rendah. Salah satu jenis bahan bakar yang semakin banyak digunakan adalah natural gas. Natural gas dikenal memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, pembakaran yang lebih bersih, serta menghasilkan emisi polutan yang relative lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil padat maupun cair. [2]

2 Material dan Metode Penelitian

2.1. Material dan Metode Penelitian

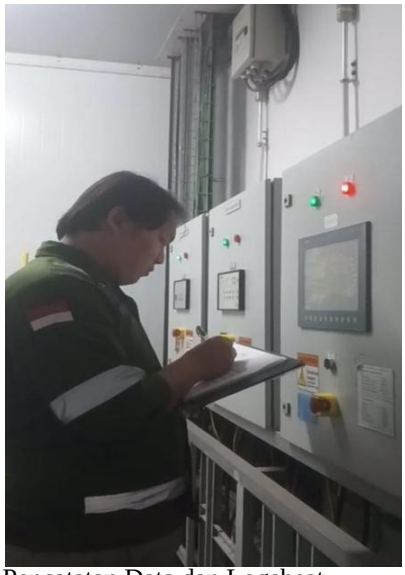
Metode penelitian kinerja boiler berbahan bakar natural gas ini dilakukan dengan metode yang umum dilakukan untuk menganalisa kinerja sistem boiler yakni metode langsung dalam pengambilan data dilingkungan tersebut. Dengan menggunakan metode ini akan diperoleh nilai efisiensi kinerja boiler berbahan bakar narutal gas. [3]

Pengambilan data dilakukan pada pagi hari sampai sore hari dengan kondisi boiler beroperasi, dengan harapan data ini dapat dianalisa agar mendapatkan nilai nilai efisiensi dan kinerja bahan bakar natural gas. [4]

Dalam penelitian ini dilakukan prosedur pengambilan data dan pengamatan dilakukan dengan langkah sebagai berikut :
1. Penelitian dilakukan mulai jam 08.00 – 17.00 WIB dengan keadaan boiler beroperasi dan katup uap beroperasi
2. Kemudian melakukan pengambilan data sebagai berikut :

1) Mencatat tekanan gas bahan bakar

2) Mencatat temperatur gas bahan bakar
3) Mencatat tekanan uap boiler
4) Mencatat temperatur uap
5) Mencatat temperatur air umpan
6) Mencatat tekanan air umpan
7) Mencatat uap keluaran boiler
8) Mencatat laju aliran air umpan



Gambar 1 Dokumentasi Pencatatan Data dan Logsheat

2.2. Metode

Untuk mencapai sebuah tujuan dari suatu permasalahan tersebut, penulis menggunakan beberapa metode diantaranya :

1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu metode penulisan yang pengumpulan datanya dilakukan dengan cara mencatat dan menggunakan data dari manualbook, e-book, jurnal, dan artikel yang ada di internet.

2. Metode Observasi

Metode ini yaitu metode yang pengumpulan datanya diperoleh dengan melihat langsung kelapangan, melakukan pengujian, pengamatan, dan mencatat hasil guna diolah lagi menjadi sebuah data agar dapat di percaya.

3. Dokumentasi

Metode ini yaitu metode pengumpulan data berupa dokumentasi baiktu secara langsung ataupun diperoleh dari internet.

4. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari objek penelitian di lapangan, meliputi :

1) Tekanan uap (bar)
2) Temperatur uap (ºC)
3) Temperatur air umpan (ºC)
4) Laju produksi uap (kg/jam)
5) Konsumsi bahan bakar natural gas (kg/jam atau Nm3/jam
5. Data Sekunder

Dilakukan dengan mengumpulkan referensi dari :
1) Spesifikasi teknis boiler
2) Data nilai kalor bahan bakar (Lower Heating Value)
3) Logsheet operasional boiler
4) Literatur dan jurnal pendukung

2.3. Rencana Desain

Dalam penelitian ini dilakukan prosedur pengambilan data dan pengamatan dilakukan dengan langkah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan mulai jam 08.00 – 17.00 WIB dengan keadaan boiler beroperasi dan katup uap beroperasi
2. Kemudian melakukan pengambilan data sebagai berikut :
1) Mencatat tekanan gas bahan bakar
2) Mencatat temperatur gas bahan bakar
3) Mencatat tekanan uap boiler
4) Mencatat temperatur uap
5) Mencatat temperatur air umpan
6) Mencatat tekanan air umpan
7) Mencatat uap keluaran boiler
8) Mencatat laju aliran air umpan

2.4 Proses Fabrikasi

Adapun sumber data Analisa dalam penelitian ini yaitu :

Tabel 1 Data Operasional Boiler Getabec 30 Ton 3 Phase

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1	Kapasitas produksi uap	ton/jam atau kg/jam	Menghitung efisiensi boiler
2	Tekanan uap	bar	Menentukan kondisi uap
3	Temperatur uap	°C	Menentukan entalpi uap
4	Temperatur air umpan	°C	Menentukan entalpi air masuk
5	Tekanan air umpan	bar	Mengetahui kondisi air umpan
6	Blowdown boiler	% atau kg/jam	Mengetahui kehilangan panas
7	Temperatur gas buang	°C	Mengetahui heat loss

Tabel 2 Data Bahan Bakar Natural Gas

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1	Total Konsumsi Bahan Bakar Natural Gas	Nm^3/jam atau kg/jam	Mengetahui jumlah bahan bakar yang digunakan
2	Tekanan gas masuk burner	Bar atau kPa	Mengetahui kestabilan suplai gas
3	Temperatur gas	°C	Mengetahui kondisi bahan bakar
4	Nilai kalor gas (GCV)	kJ/Nm^3 atau kJ/kg	Menghitung energi pembakaran
5	Komposisi gas metana	% volume	Mengetahui CH_4 dan hidrokarbon
6	Air fuel ratio		Mengetahui kualitas pembakaran
7	Laju aliran udara pembakaran	Kg/jam atau m^3/jam	Menentukan kesempurnaan pembakaran

Tabel 3 Data Pendukung Efisiensi

No	Parameter	Satuan	Keterangan
1	Entalpi uap (hg)	kJ/kg	Perhitungan energi uap
2	Entalpi air umpan (hf)	kJ/kg	Perhitungan energi masuk
3	Energi bahan bakar	kJ/jam	Menghitung energi pembakaran
4	Efisisensi boiler	%	Mengetahui performa boiler

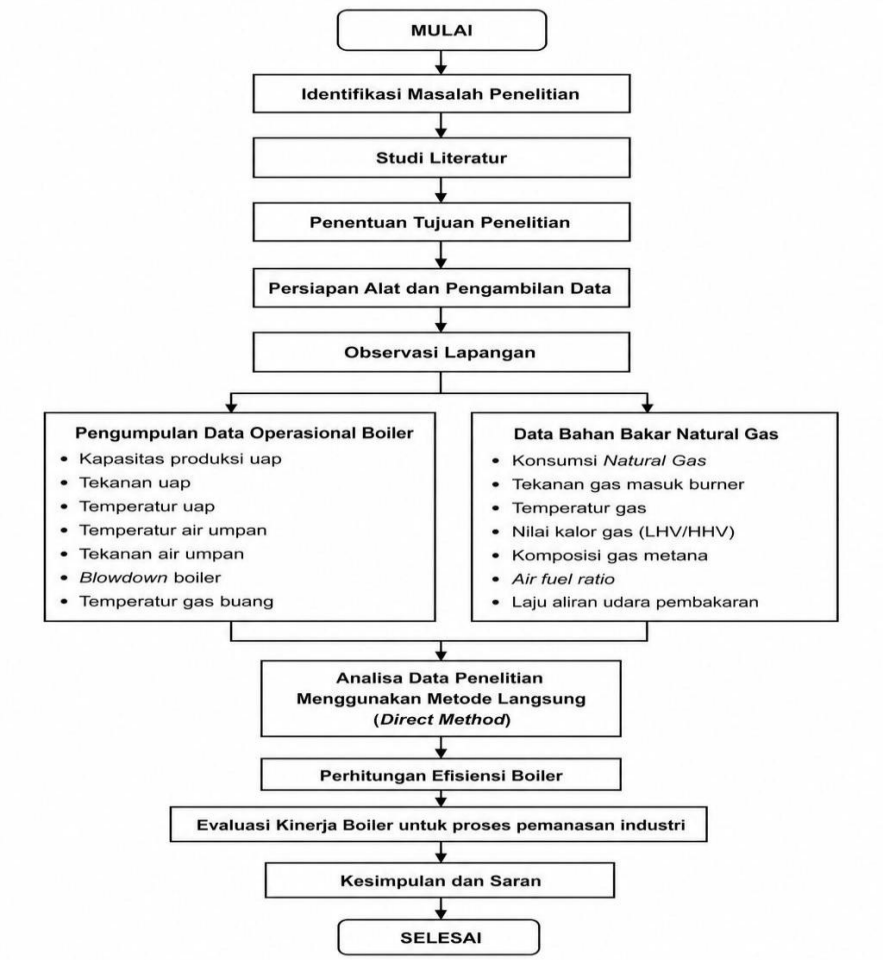
Rumus utama yang digunakan adalah metode langsung (direct methode)

$$\eta = \frac{Q\ x\ (hg - hf)}{q\ x\ GCV} x\ 100 \quad (1)$$

Keterangan :

η = Efisiensi Boiler (%)
Q = Aliran Uap (kg/jam)
hg = entalpi uap (kJ/kg)
hf = entalpi air umpan (kJ/kg)
q = konsumsi bahan bakar Natural Gas (kg/jam atau Nm3/jam)
GCV = nilai kalor bahan bakar gas (kJ/kg atau kJ/ Nm3)

Metode langsung memiliki kelebihan yaitu perhitungan yang sederhana, cepat, dan tidak memerlukan banyak data. Oleh karena itu, metode ini sangat cocok digunakan untuk evaluasi awal kinerja boiler di lapangan. Namun, metode ini memiliki keterbatasan karena tidak dapat menunjukkan secara rinci sumber-sumber kehilangan energi yang terjadi dalam sistem boiler.



Gambar 2 Diagram Alir

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil Perhitungan Analisa Efisiensi Boiler Pipa Api Kapasitas 30 Ton Berbahan Bakar Natural Gas

Tabel berikut menyajikan paruh pertama data operasional yang ditranskripsikan dari naskah sumber. Format angka telah diseragamkan untuk memudahkan pembacaan; nilai asli tidak sengaja dihaluskan atau diganti. Kolom η sumber adalah efisiensi yang dilaporkan dalam tabel sumber, bukan hasil regresi.

Table 4. Daily boiler operating data (days 1–15).

Day	Steam (kg/day)	h_s (kJ/kg)	hfw (kJ/kg)	Gas (Nm³/day)	GCV (kJ/Nm³)	Reported η
01	112,160	2780.22	470.39	8,501.71	38,646.81	78%
02	112,440	2780.38	550.82	8,461.31	38,380.78	77%
03	101,920	2780.25	470.72	7,722.05	38,537.64	79%
04	88,648	2780.35	464.92	6,765.23	38,555.15	78%
05	135,368	2780.22	468.99	10,217.77	38,761.95	78%
06	148,024	2779.98	459.29	10,895.76	38,816.72	81%
07	182,664	2780.05	458.74	13,422.12	38,849.13	81%
08	163,888	2780.11	468.27	12,072.80	38,850.25	80%
09	136,312	2780.18	463.53	10,069.03	38,897.20	80%
10	155,088	2780.15	476.57	11,391.71	38,808.89	80%
11	202,952	2780.18	474.62	14,946.37	38,715.37	80%
12	174,104	2780.28	471.44	12,847.58	38,743.32	80%
13	180,472	2780.18	469.88	13,403.47	38,739.22	80%
14	182,024	2780.32	470.72	13,330.66	38,683.33	81%
15	221,048	2780.38	467.93	16,104.32	38,571.55	82%

Nilai entalpi air umpan pada hari ke-2 sebesar 550,82 kJ/kg lebih tinggi dibanding sebagian besar nilai lain pada rentang data (sekitar 458,74–477,84 kJ/kg). Angka tersebut dipertahankan agar jejak data sumber tidak hilang, tetapi harus dikonfirmasi sebelum perhitungan efisiensi digunakan sebagai dasar keputusan operasi.

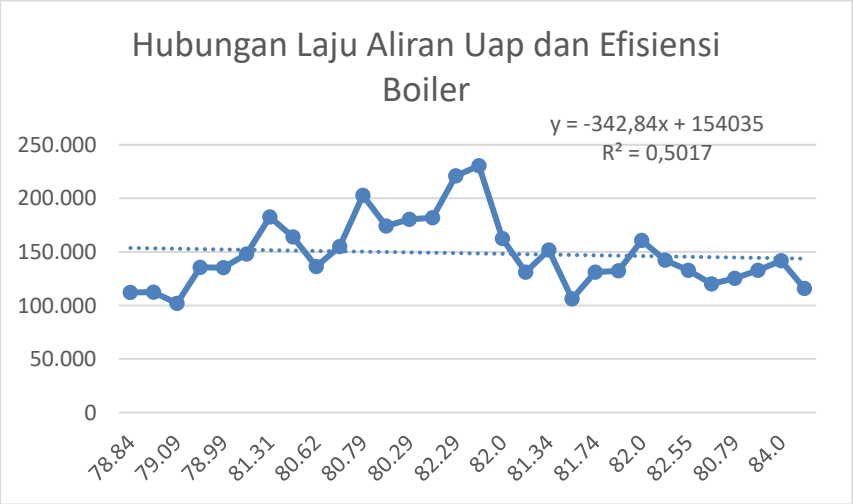
Table 5. Daily boiler operating data (days 16–30).

Day	Steam (kg/day)	h_s (kJ/kg)	hfw (kJ/kg)	Gas (Nm³/day)	GCV (kJ/Nm³)	Reported η
16	230,504	2779.98	472.67	16,798.30	38,719.84	81%
17	162,472	2780.28	467.21	11,830.38	38,723.94	82%
18	131,032	2780.32	469.37	9,548.22	38,760.08	81%
19	151,792	2780.18	472.67	11,119.98	38,721.33	81%
20	106,240	2780.25	469.79	7,884.11	38,742.57	80%
21	131,024	2780.22	471.49	9,551.77	38,741.45	81%
22	132,312	2780.35	467.68	9,699.18	38,652.40	81%
23	160,848	2780.15	473.60	11,671.43	38,723.20	82%
24	142,304	2780.11	473.65	10,283.04	38,644.20	82%
25	132,848	2780.32	469.79	9,618.37	38,654.64	82%
26	120,056	2780.28	471.49	8,687.75	39,538.44	80%
27	125,296	2780.38	474.03	8,914.74	40,107.40	80%
28	132,920	2780.25	472.67	8,983.45	40,167.02	85%
29	141,911	2780.35	475.30	9,620.59	40,174.84	84%
30	115,904	2780.22	477.84	7,902.31	40,190.87	84%

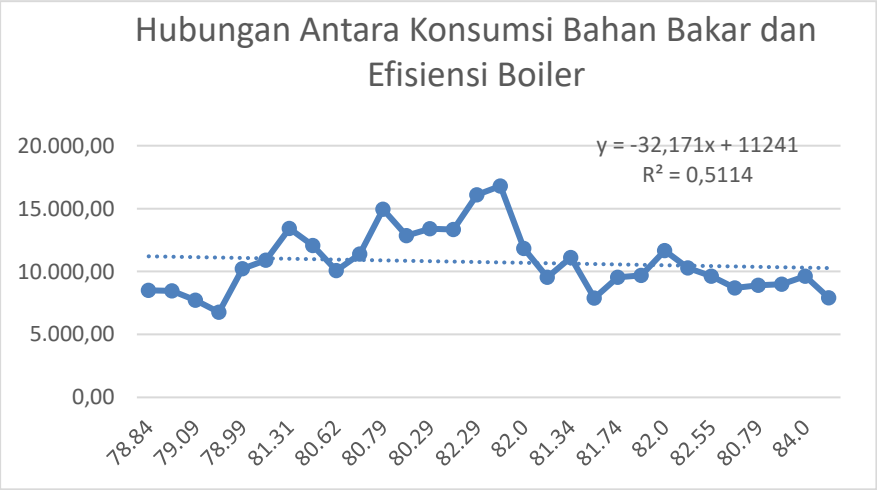
Berdasarkan nilai efisiensi sumber selama 30 hari, nilai minimum adalah 77% dan maksimum 85%, sedangkan rata-rata aritmetika dari angka yang dibulatkan adalah 80,7%. Rentang tersebut menggambarkan variasi nilai yang dicatat selama periode pengamatan, tetapi tidak cukup untuk menyatakan bahwa boiler selalu berada pada kondisi optimal karena acuan target desain, beban aktual, dan ketidakpastian data tidak dilaporkan.

Produksi uap harian berada pada rentang 88.648–230.504 kg/hari. Konsumsi gas berada pada rentang 6.765,23–16.798,30 Nm^3/hari. Kedua variabel berfluktuasi ant hari, yang konsisten dengan perubahan beban operasi; hubungan langsung dengan efisiensi tidak dapat disimpulkan hanya dari kenaikan atau penurunan salah satu parameter.

3.2. Analisis Grafik



Gambar 3 Grafik Hubungan Laju Aliran Uap dan Efisiensi Boiler



Gambar 4 Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar dan Efisiensi Boiler

Pembahasan :

Gambar 3 Berdasarkan Grafik Hubungan Laju Aliran Uap dan Efisiensi Boiler, terlihat bahwa hubungan antara laju aliran uap dengan efisiensi boiler menunjukkan kecenderungan negatif. Hal tersebut ditunjukkan oleh persamaan garis regresi y = −342,84x + 154035 dengan nilai R^2 = 0,5017. Nilai koefisien regresi yang bernilai negatif menunjukkan bahwa ketika laju aliran uap meningkat, nilai efisiensi boiler cenderung mengalami penurunan. Namun, hubungan tersebut tidak bersifat mutlak karena pada beberapa titik pengamatan terlihat adanya fluktuasi, yaitu peningkatan maupun penurunan nilai efisiensi paNilai R^2 sebesar 0,5017 menunjukkan bahwa sekitar 50,17% perubahan nilai pada variabel yang diamati dapat dijelaskan oleh hubungan antara laju aliran uap dan efisiensi boiler, sedangkan sekitar 49,83% lainnya dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar hubungan tersebut.

Gambar 4 Berdasarkan Berdasarkan Gambar 4.2 Grafik Hubungan Konsumsi Bahan Bakar Gas dan Efisiensi Boiler, terlihat bahwa hubungan antara konsumsi bahan bakar gas dengan efisiensi boiler menunjukkan kecenderungan positif, yang ditunjukkan oleh persamaan regresi y = 32,171x + 11241 dengan nilai R^2 = 0,5114. Koefisien regresi yang bernilai positif menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi bahan bakar gas cenderung diikuti oleh peningkatan nilai efisiensi boiler. Namun, pola data pada grafik mengalami fluktuasi yang cukup besar. Pada beberapa kondisi, peningkatan konsumsi bahan bakar gas diikuti oleh peningkatan efisiensi, sedangkan pada kondisi lainnya konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi justru tidak menghasilkan peningkatan efisiensi yang signifikan. Nilai R^2 sebesar 0,5114 menunjukkan bahwa sekitar 51,14% variasi efisiensi boiler dapat dijelaskan oleh hubungan dengan konsumsi bahan bakar gas, sedangkan sekitar 48,86% dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel tersebut.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai analisis efisiensi boiler pipa api kapasitas 30 ton berbahan bakar natural gas menggunakan metode langsung (direct method), dapat disimpulkan bahwa natural gas yang didominasi oleh kandungan metana memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga mampu menghasilkan proses pembakaran yang lebih stabil dan efisien untuk kebutuhan pembangkitan uap pada boiler pipa api.

Hasil perhitungan efisiensi menunjukkan bahwa boiler mampu mengkonversikan energi panas dari bahan bakar menjadi energi uap dengan tingkat pemanfaatan energi yang relatif baik. Nilai efisiensi yang diperoleh menunjukkan bahwa sistem masih beroperasi dalam kondisi yang mendukung proses pemanasan industri secara optimal. Penggunaan bahan bakar natural gas memberikan keuntungan operasional berupa pembakaran yang lebih bersih, minim residu, serta mampu mengurangi potensi penurunan perpindahan panas akibat penumpukan kerak pada permukaan perpindahan panas boiler Parameter operasional seperti temperatur air umpan, tekanan uap, temperatur uap, dan konsumsi bahan bakar memiliki pengaruh langsung terhadap kinerja boiler.

References

[1] Irfan, "Analisis Kinerja pada Ruang Bakar Boiler Pipa Api Skala Model dengan Tekanan Uap 700 kPa dengan Menggunakan Bahan Bakar Cangkang Kemiri," Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Medan, 2024

[2] N. A. Z. Putri, I. Yuliani, dan S. Widarti, "Pengaruh Pemakaian Jenis Bahan Bakar Terhadap Kinerja Boiler dengan Metode Langsung dan Tidak Langsung," Jurnal Surya Teknika, vol. 11, no. 1, 2024, doi: 10.37859/jst.v11i1.7324.

[3] A.Sugiharto, "Perhitungan Efisiensi Boiler dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api," PPSDM MIGAS, Cepu

[4] A. Gafur et al., "Optimasi Suplai Udara pada Boiler Pipa Api," Jurnal Teknik Energi, vol. 12, no. 2, pp. 44–50, 2024

[5] Sugiharto, "Analisis Efisiensi Boiler Pipa Api pada Sistem Industri," Jurnal Teknik Mesin, vol. 5, no. 2, pp. 10–15, 2020.

[6] A. Gafur et al., "Optimasi Suplai Udara pada Boiler Pipa Api," Jurnal Teknik Energi, vol. 12, no. 2, pp. 44–50, 2024.

[7] Husen, "Sistem Operasi dan Perawatan Boiler Industri," Jurnal Teknik Mesin, vol. 8, no. 3, pp. 15–23, 2022.

[8] Gultom et al., "Pengaruh Economizer terhadap Efisiensi Boiler," Jurnal Energi Terbarukan, vol. 6, no. 2, pp. 66–72, 2024.

[9] M. Fadli and Fahruddin, "Pengaruh Diameter Pipa Api terhadap Efisiensi Boiler," Jurnal Rekayasa Mesin, vol. 7, no. 1, pp. 22–28, 2021.

[10] I. Febianto, "Studi Efisiensi Thermal Boiler Menggunakan Direct Method pada PLTU Sungai Ringin di Kabupaten Sintang," Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (ITRAIN), vol. 1, no. 1, 2019.