

EVALUASI EFISIENSI THERMAL POWER BOILER DENGAN MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG

Imaniah Sriwijayasih¹⁾, Eky Novianarenti²⁾, Dika Rahayu Widiana³⁾, Septaviola Dini Utami⁴⁾, Masaril Fatahilah⁵⁾, Adham Zaidan Zulfaqar⁶⁾, Arya Zein Ariffadly⁷⁾

^{1,4}Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
^{2,3,5,6,7} Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: imaniahsriwijayasih@ppns.ac.id

ABSTRACT

A boiler is a device that produces steam or hot water by heating water or other fluids using heat energy from fuel. At PT.XYZ, there are two types of boilers, namely Power Boiler and Recovery Boiler Plant. Power Boiler produces steam with a pressure of 6300 kPa and a rate of 98 kg/s, while Recovery Boiler Plant produces steam from the digester extraction flow which is processed through flash tanks 1 and 2. Power Boiler uses BFB (Bubbling Fluidized Bed) technology with sand as a heating medium to burn rejects. This study analyzes the efficiency of waste-fired boilers at PT.XYZ Tanjung Enim using the direct method. The results of the analysis show that waste-fired boilers have a boiler efficiency value achieved of 60%, while the lowest boiler efficiency value is 33.4%. Factors that reduce boiler efficiency at PT.XYZ Tanjung Enim include waste which is the main fuel that still contains water content, cleanliness of the boiler tube surface, and water quality.

Keywords: *boiler, direct method, paper, pulp, waste*

ABSTRACT

Boiler adalah perangkat yang menghasilkan uap atau air panas dengan memanaskan air atau fluida lainnya menggunakan energi panas dari bahan bakar. Di PT.XYZ, terdapat dua jenis boiler, yaitu Power Boiler dan Recovery Boiler Plant. Power Boiler menghasilkan uap dengan tekanan 6300 kPa dan laju 98 kg/s, sedangkan Recovery Boiler Plant menghasilkan uap dari aliran ekstraksi digester yang diproses melalui flash tank 1 dan 2. Power Boiler menggunakan teknologi BFB (*Bubbling Fluidized Bed*) dengan pasir sebagai media pemanas untuk membakar reject. Studi ini menganalisis efisiensi boiler berbahan bakar limbah di PT.XYZ Tanjung Enim menggunakan metode langsung. Hasil analisis menunjukkan bahwa boiler berbahan bakar limbah memiliki nilai efisiensi boiler yang dicapai sebesar 60 %, sedangkan nilai efisiensi boiler terendah adalah 33,4 %. Faktor yang mengurangi efisiensi boiler di PT.XYZ Tanjung Enim antara lain karena limbah yang merupakan bahan bakar utama yang masih mengandung kadar air, kebersihan permukaan tabung boiler, dan kualitas air.

Kata kunci : *boiler, kertas, limbah, metode langsung, pulp*

PENDAHULUAN

Indonesia termasuk salah satu Negara agraria yang memiliki hutan hujan tropis dengan berbagai jenis kayu yang bermutu tinggi (Murdjoko et al., 2021) . Penggunaan bahan bakar fosil telah meningkatkan emisi gas rumah kaca, yang berkontribusi pada pemanasan global (Sahira, 2024) (Hou et al., 2023). Selain itu, penurunan cadangan energi

fosil menimbulkan kekhawatiran tentang ketersediaannya di masa depan dan keberlanjutannya (Puspita & Nugraheni, 2024). Dalam hal ini pemerintah Indonesia telah merencanakan Industri pulp dan kertas merupakan salah satu industri strategis di Indonesia dan berpotensi menjadi pemasok utama pulp dan kertas di pasar internasional (Rissa Hurulaini Ramadhani Nasution, 2023).

Di PT.XYZ, boiler jenis water tube menggunakan air sebagai fluida untuk menghasilkan uap dengan berbagai tekanan dan temperatur. Uap yang dihasilkan kemudian digunakan untuk memutar turbin, yang pada akhirnya menghasilkan energi listrik melalui generator listrik. Penurunan kinerja operasional boiler dapat mempengaruhi efisiensi boiler, yang dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti konsumsi bahan bakar, laju aliran uap, temperatur air umpan, serta tekanan dan temperatur uap (Wicaksana et al., 2023) (Pratama, 2023).

Turunnya kinerja operasional boiler akan berpengaruh terhadap kinerja proses pembangkit listrik dan juga ekonomi pembangkit (Sahda et al., 2022). Untuk mengevaluasi efisiensi boiler, diperlukan analisis menggunakan dua metode, yaitu metode langsung (input-output) dan metode tidak langsung (kehilangan panas) (Joniarta et al., 2024). Metode langsung (input-output) mengevaluasi efisiensi boiler dengan membandingkan keluaran uap yang berguna dengan masukan panas dari bahan bakar. Sementara metode tidak langsung memperhitungkan kehilangan panas dan energi bahan bakar untuk menentukan efisiensi (Sahda et al., 2022).

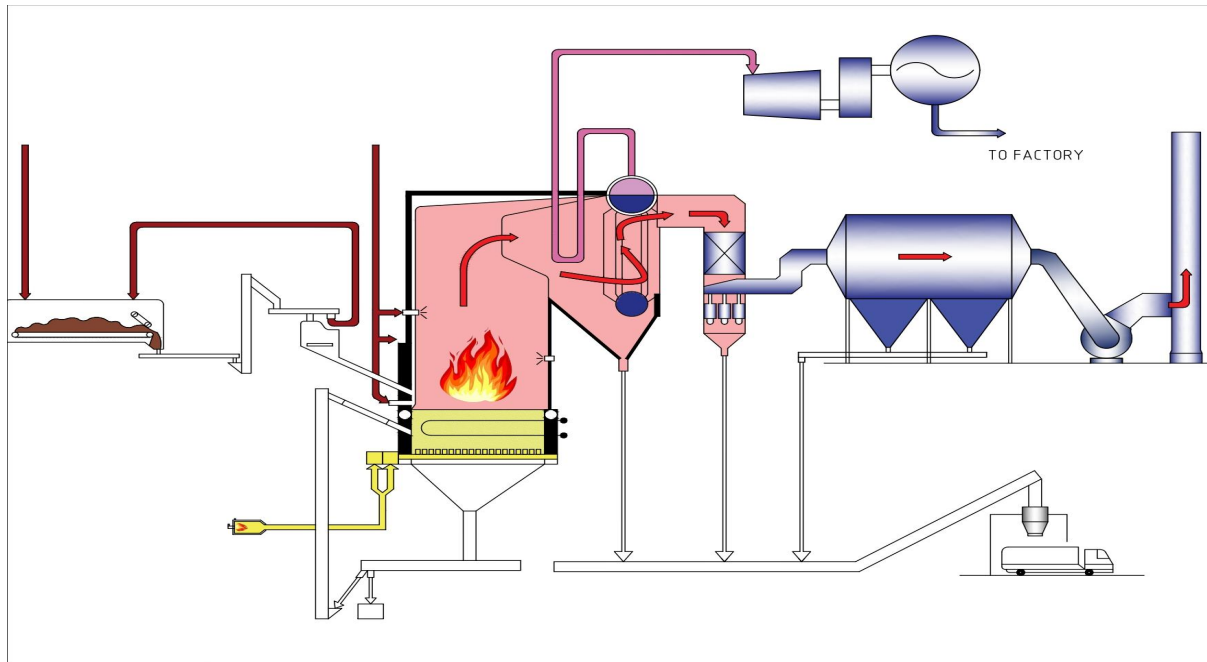
Penelitian ini menganalisis efisiensi boiler berbahan bakar kulit kayu di PT.X.Y.Z menggunakan metode langsung, dengan data yang diperoleh langsung dari perusahaan tersebut. Metode langsung memiliki kelebihan karena dapat mengevaluasi efisiensi boiler dengan cepat, hanya memerlukan beberapa parameter, dan tidak membutuhkan analisis laboratorium yang rumit (Shahab & Amna, 2023) (Kawulur & Warokka, 2023). Oleh karena itu menganalisis efisiensi boiler sangat penting agar dapat dilakukan tindak lanjut untuk meningkatkan kinerja pada boiler (Saidah et al., 2022).

METODE PENELITIAN

Pengambilan Data

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh unjuk kerja Air preheater terhadap efisiensi boiler di PT.XYZ. Penelitian ini bertujuan untuk mengumpulkan data dan menganalisis pengaruh Air preheater terhadap efisiensi boiler, sehingga dapat memanfaatkan panas yang terkandung dalam gas buang boiler.

Penelitian ini dilakukan pada saat operasional berjalan stabil dan tanpa kendala. Jenis penelitian ini adalah penelitian lapangan (field research), yang melibatkan pengumpulan data langsung dari lapangan untuk mendapatkan informasi yang akurat.



Gambar 1. Power Boiler

Sumber Data

Penelitian ini mengumpulkan data melalui proses membaca, mengutip, dan menyusun data yang telah diperoleh. Data yang digunakan terdiri dari data primer dan data sekunder yang dianalisis untuk mendapatkan informasi relevan. Data primer diperoleh langsung dari sumbernya, yaitu data operasional boiler di PT.XYZ. Sementara data sekunder berasal dari sumber tidak langsung seperti buku, dokumentasi, dan arsip yang relevan dengan penelitian.

Metode Pengolahan Data

Penelitian ini menggunakan dua metode, yaitu:

1. Studi Lapangan: Pengumpulan data dilakukan melalui pengamatan dan pengumpulan data yang diperlukan secara langsung di lapangan.
2. Pengolahan dan Analisis Data: Data yang telah diperoleh kemudian diolah dan dianalisis untuk menghitung nilai-nilai yang relevan, termasuk perbandingan nilai kalor, guna mengetahui pengaruh unjuk kerja Air preheater terhadap efisiensi boiler.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data analisis yang digunakan yaitu pada saat kondisi operasional normal . Pembahasan penelitian ini berfokus pada analisis data yang telah diperoleh dari studi lapangan dan sumber sekunder. Data operasional boiler di PT.XYZ digunakan sebagai data primer, sedangkan data sekunder diperoleh dari buku, dokumentasi, dan arsip yang relevan. Dalam pembahasan, penelitian ini menghitung nilai-nilai yang relevan, termasuk perbandingan nilai kalor, untuk mengetahui pengaruh unjuk kerja Air preheater terhadap efisiensi boiler. Hasil analisis data diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat untuk meningkatkan kinerja boiler dan efisiensi energi di PT.XYZ.

Tabel 1.1 Data Komposisi Kulit Kayu

Komponen	Massa (%)
H ₂	5,5
C	49,2
O ₂	40,3
N ₂	0
S	0
Ash	5
Total	100

(Sumber : Laboratorium Divisi Produksi PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.2. Data komposisi *flue gas*

Waktu	O ₂ (%)
08 : 00	4,85
10 : 00	4,61
12 : 00	4,60
14 : 00	4,92
16 : 00	5,07
18 : 00	5,13
20 : 00	5,12
22 : 00	5,83
24 : 00	6,40
02 : 00	4,99
04 : 00	6,21
06 : 00	6,56
Total	64,44
Rata - rata	5,37

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.3 Data *Feed Water*

Waktu	<i>Feed Water</i> (Ton/Jam)
08 : 00	111
10 : 00	113

12 : 00	116
14 : 00	120
16 : 00	112
18 : 00	114
20 : 00	122
22 : 00	112
24 : 00	106
02 : 00	117
04 : 00	97
06 : 00	102
Total	1690
Rata - rata	111

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.4 Data Temperatur *Steam* yang dihasilkan

Waktu	Temperatur (°C)
08 : 00	445
10 : 00	440
12 : 00	444
14 : 00	445
16 : 00	440
18 : 00	440
20 : 00	441
22 : 00	440
24 : 00	444
02 : 00	449
04 : 00	445
06 : 00	442
Total	5315
Rata - rata	442,9167

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.5 Data komposisi *flue gas*

Waktu	CO ₂ (%)
08 : 00	5,24
10 : 00	4,27
12 : 00	4,60
14 : 00	5,24
16 : 00	6,00
18 : 00	5,74
20 : 00	5,10
22 : 00	5,10
24 : 00	6,77
02 : 00	4,52
04 : 00	7,29
06 : 00	7,20
Total	67,07
Rata - rata	5,589167

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.6 Data Temperatur di *Flue* gas setelah masuk boiler

Waktu	Temperatur (°C)
08 : 00	393
10 : 00	388
12 : 00	392
14 : 00	389
16 : 00	395
18 : 00	405
20 : 00	405
22 : 00	407
24 : 00	391
02 : 00	394
04 : 00	400
06 : 00	391
Total	4750
Rata - rata	395,5833

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.7 Data Tekanan di *Steam* yang dihasilkan

Waktu	Pressure (Kpa)
08 : 00	6361
10 : 00	6341
12 : 00	6372
14 : 00	6338
16 : 00	6397
18 : 00	6350
20 : 00	6358
22 : 00	6373
24 : 00	6327
02 : 00	6379
04 : 00	6378
06 : 00	6329
Total	76303
Rata - rata	6358,583

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.8 Data Temperatur Kulit Kayu Sebelum Masuk *Boiler*

Waktu	Temperatur (°C)
08 : 00	32
10 : 00	32
12 : 00	32
14 : 00	32
16 : 00	32
18 : 00	32
20 : 00	32
22 : 00	32

24 : 00	32
02 : 00	32
04 : 00	32
06 : 00	32
Total	384
Rata - rata	32

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 1.9 Data Temperatur udara masuk

Waktu	Temperatur (°C)
08 : 00	169
10 : 00	166
12 : 00	168
14 : 00	169
16 : 00	172
18 : 00	172
20 : 00	172
22 : 00	170
24 : 00	168
02 : 00	169
04 : 00	167
06 : 00	167
Total	2029
Rata - rata	169,0833

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Tabel 2.0 Data Temperatur air umpan masuk

Waktu	Temperatur (°C)
08 : 00	125
10 : 00	125
12 : 00	125
14 : 00	125
16 : 00	125
18 : 00	125
20 : 00	125
22 : 00	125
24 : 00	125
02 : 00	125
04 : 00	125
06 : 00	125
Total	1500
Rata - rata	125

(Sumber : *Distributed Control System* PT. Tanjungenim Lestari *Pulp and Paper*)

Mencari Entalpi Uap dan Air

Entalpi adalah ukuran total energi kalor dalam sistem yang bergantung pada suhu dan tekanan. Dalam menghitung efisiensi boiler, entalpi uap (H_g) dan entalpi air (H_f) dapat

diperoleh dengan menggunakan steam tabel berdasarkan data tekanan dan temperatur uap serta temperatur air umpan. Interpolasi digunakan untuk menentukan nilai entalpi yang tidak diketahui. Nilai entalpi aktual dapat diperoleh dalam satuan kJ/kg dengan menggunakan persamaan yang relevan.

$$H = y_1 + \frac{(x_3 - x_1)(x_3 - x_1)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_1)} (y_2 - y_1) \dots\dots\dots(1)$$

Mencari Kapasitas Jenis Zat

Kapasitas jenis zat menunjukkan seberapa besar kemampuan suatu zat untuk menyerap atau melepaskan kalor ketika suhunya berubah. Setiap zat memiliki kapasitas jenis yang unik, yang dapat digunakan untuk memprediksi bagaimana zat tersebut akan bereaksi terhadap perubahan suhu. Berikut persamaan dalam mendapatkan kapasitas jenis zat

$$a + \frac{b}{2} (T_2 + T_1) + \frac{c}{3} (T_2^2 + T_2 \cdot T_1 + T_1^2)$$

Kapasitas panas air (C_p) dihitung dengan rumus:

$$a + \frac{b}{2} (T_2 + T_1) + \frac{c}{3} (T_2^2 + T_2 \cdot T_1 + T_1^2) \dots\dots\dots(2)$$

Menghitung Efisiensi Boiler

Efisiensi boiler dihitung dengan membandingkan energi output (uap yang dihasilkan) dengan energi input (bahan bakar). Metode ini disebut metode input-output karena hanya memerlukan data output (uap) dan input (bahan bakar). Menurut standar ASME PTC 4-1, efisiensi boiler dapat dihitung menggunakan rumus tertentu yang membandingkan energi yang diserap air untuk menjadi uap dengan energi yang terkandung dalam bahan bakar. Berikut persamaan dalam mendapatkan Efisiensi Boiler

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= \frac{Q_s - Q_a}{Q_H} \times 100\% \\ &= \frac{1913.770.757}{5732.620.038} \times 100\% \\ &= 34 \% \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

Pulp yang dihasilkan oleh PT.X.Y.Z adalah *pulp* yang berasal dari 100 % kayu *Accaciamangium* ini berasal dari hutan tanaman industri PT. Musi Hutan Persada (PT.MHP) di Sumatera Selatan, PT. Korintiga Hutan (PT. KTH) di Kalimantan Tengah dan PT. Wahana Agro Mandiri (PT. WAM) di Musi Banyuasin. Proses pemasakan atau *cooking* menggunakan proses *kraft*, dimana lindih putih atau *whiteliquor* terdiri dari NaOH dan Na₂S. Keberadaan Na₂S akan menahan reaksi pemutusan rantai selulosa pada ujung-ujungnya

(*peeling reaction*) sehingga diperoleh *pulp* dengan viskositas yang lebih tinggi dan sifat fisik yang lebih kuat. Untuk mengurangi kandungan organik yang terbuang ke *effluent* atau limbah cair, PT.XYZ menggunakan tahapan delignifikasi.

Adanya tahapan selain mengurangi COD atau kandungan organik pada limbah cair juga akan mengurangi pemakaian zat kimia pemutih atau ClO_2 . Dari hasil perhitungan efisiensi didapat yakni 34 % sedangkan untuk efisiensi pembakaran kulit kayu secara desain yakni 60 %. Faktor yang paling dominan dalam penurunan efisiensi pembakaran kulit kayu adalah adanya kebocoran pada economizer dan panas masuk lebih besar dari panas yang dihasilkan uap dan ini menyebabkan banyaknya panas yang terbuang sia-sia sehingga menurunkan efisiensi pembakaran. Untuk mendapatkan jumlah panas dan efisiensi pembakaran yang baik sebaiknya PT.X.Y.Z menggunakan instrument pengukuran agar dapat mengetahui kebocoran pada economizer sehingga uap yang dihasilkan maksimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan aktual menggunakan metode langsung, efisiensi boiler water tube hanya mencapai 34%, jauh di bawah efisiensi desain sebesar 60% untuk pembakaran kulit kayu. Faktor-faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi antara lain kandungan air dalam bahan bakar dan kualitas air yang kurang baik, yang dapat menyebabkan kerak dan menghambat perpindahan panas. Untuk meningkatkan efisiensi boiler, disarankan melakukan pengecekan berkala sesuai SOP untuk mencegah kerusakan dan kebocoran, serta memastikan fungsi instrument pengukuran untuk mendeteksi kebocoran pada economizer guna mengoptimalkan produksi uap.

DAFTAR PUSTAKA

- Hou, H., Lu, W., Liu, B., Hassanein, Z., Mahmood, H., & Khalid, S. (2023). Exploring the Role of Fossil Fuels and Renewable Energy in Determining Environmental Sustainability: Evidence from OECD Countries. *Sustainability (Switzerland)*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/su15032048>
- Joniarta, I. W., Al Buhori, R. R., & Made Wijana. (2024). ANALISIS EFISIENSI BOILER CFB UNIT 3 MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DI PT PLN INDONESIA POWER OMU JERANJANG. *Energy, Materials and Product Design*, 3(1), 156–162. <https://doi.org/10.29303/empd.v3i1.3800>
- Kawulur, M. P. Y., & Warokka, A. (2023). *Analisa Efektivitas Boiler Fire Tube Untuk Media Bahan Ajar Mahasiswa Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado* (Vol. 3, Issue 1).
- Murdjoko, A., Djitmau, D. A., Sirami, E. V., Siburian, R. H. S., Ungirwalu, A., Mardiyadi, Z., Wanma, J. F., Mofu, W. Y., Marwa, J., Susanti, C. M. E., Tokede, M. J., Imburi, C. S., Sagrim, M., Mamboai, H., Sonbait, L. Y., Dwiranti, F., Salosa, Y. Y., Paembonan, J. B., Wiradyo, E. T., ... Saragih, A. S. B. (2021). Tree diversity of pegunungan bintang forest, papua, indonesia as potency of wood supply. *Biodiversitas*, 22(12), 5665–5675. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d221263>
- Pratama, Y. (2023). ANALISIS BEBAN GENERATOR PROTOTIPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU). *JURNAL TEKTRON*, 7(1).
- Puspita, D., & Nugraheni, N. (2024). *ENERGI BERSIH TERJANGKAU DALAM MEWUJUDKAN TUJUAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN (SDGs)*. <http://sosains.greenvest.co.id>
- Rissa Hurulaini Ramadhani Nasution. (2023). *PENGARUH KEBIJAKAN NON-TARIF MEASURES (NTMs) TERHADAP EKSPOR PULP DAN KERTAS INDONESIA The Effect of Non-Tariff Measures (NTMs) on Indonesian Pulp and Paper Exports*.
- Sahda, N. T., Mulya Sentosa, J., & Adhani, L. (2022). Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang. *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 1(1), 39–48. <http://ejurnal.ubharajaya.ac.id/index.php/JOE3S39>
- Sahira, S. (2024). *Energy and Engineering Sustainable and Green System Management: Meningkatkan Efisiensi Energi dan Mencapai Net Zero Emission dengan Mengurangi Penggunaan Bahan Bakar Fossil dengan Ammonia*. <https://doi.org/10.32734/ee.v7i1.2229>
- Saidah, K., Barus, D. S., & Razak, A. (2022). ANALISIS PELUANG PENGHEMATAN ENERGI PADA BOILER DENGAN KAPASITAS 40 TON/JAM DI PKS AEK LOBA PT. SOCFIN INDONESIA. <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/index>
- Shahab, O. A., & Amna, S. (2023). EFFICIENCY ANALYSIS OF FIRE TUBE BOILER TYPE AT REFINERY UTILITY UNIT CENTER FOR OIL AND GAS HUMAN RESOURCES DEVELOPMENT (PPSDM MIGAS) CEPU. In *JCI Jurnal Cakrawala Ilmiah* (Vol. 2, Issue 7). <http://bajangjournal.com/index.php/JCI>
- Wicaksana, S. P., Rahmatulloh, A., & Subandi, R. (2023). ANALISIS EFISIENSI BOILER FIRE-TUBE PADA PRODUKSI STPP DI PT PETROCENTRAL GRESIK MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DAN TIDAK LANGSUNG. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9(3), 258–265. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i3.3777>