

Analisis Kebocoran Pipa terhadap Kinerja Mesin Boiler DUNPHY TD 530 YML VK

Anovan Fadhil Muhammad^{1*}, Priyo Heru Adiwibowo²

¹Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Jl. Kampus Unesa 1, Jalan Ketintang, Gedung A-6, Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

²Program Studi S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya)
Jl. Kampus Unesa 1, Jalan Ketintang, Gedung A-6, Gayungan, Surabaya, Jawa Timur 60231

*Corresponding author: anovan.21073@mhs.unesa.ac.id

Abstract

This study evaluates the impact of pipe leaks on boiler pipes can lead to reduced energy efficiency and increased fuel consumption. This study aims to analyze the impact of pipe leakage on thermal efficiency and fuel consumption in a Dunphy TD 530 YML VK water tube boiler. The methodology includes leakage detection using pneumatic and hydro tests, along with fuel consumption analysis before and after repairs. The results indicate that leakage reduces efficiency by 10% and increases fuel consumption by 11.1%. After repairs, efficiency improved to 78.85% for Diesel Oil and 76% for Natural Gas, while fuel consumption decreased by 5.31% and 5.26%, respectively. Although the efficiency improved after repairs, the boiler's performance did not fully return to its optimal state. Therefore, routine monitoring and proper maintenance are essential to prevent leakage and enhance boiler system efficiency..

Keywords: Boiler, Pipe Leaks, Energy Efficiency, Fuel Consumption, Capacity Optimization

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi dampak kebocoran pada pipa boiler dapat menyebabkan penurunan efisiensi energi dan peningkatan konsumsi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak kebocoran pipa terhadap efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar pada boiler tipe water tube Dunphy TD 530 YML VK. Metode yang digunakan mencakup uji kebocoran menggunakan pneumatic test dan hydro test, serta analisis konsumsi bahan bakar sebelum dan setelah perbaikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebocoran menyebabkan penurunan efisiensi sebesar 10% dan peningkatan konsumsi bahan bakar sebesar 11,1%. Setelah perbaikan, efisiensi meningkat menjadi 78,85% untuk Diesel Oil dan 76% untuk Natural Gas, sementara konsumsi bahan bakar menurun masing-masing sebesar 5,31% dan 5,26%. Meskipun terjadi peningkatan efisiensi setelah perbaikan, kinerja boiler belum sepenuhnya kembali ke kondisi optimal. Oleh karena itu, pemantauan rutin dan perawatan yang tepat diperlukan untuk mencegah kebocoran serta meningkatkan efisiensi sistem boiler..

Kata kunci: Boiler, Kebocoran Pipa, Efisiensi Energi, Konsumsi Bahan Bakar, Optimasi Kapasitas

1. Pendahuluan

Industri saat ini berkembang pesat, meningkatkan persaingan antar perusahaan. Oleh karena itu, penting untuk rutin mengevaluasi kinerja mesin guna menghindari pemborosan energi dan memastikan efisiensi operasional. Boiler adalah salah satu mesin vital yang memproduksi uap untuk proses pengepresan pakan ternak. Gangguan pada boiler dapat menghentikan pasokan uap, mengganggu produksi, dan menurunkan kualitas serta kuantitas pakan. Pemeliharaan dan perbaikan boiler yang tepat sangat penting

untuk menjaga kelancaran produksi dan daya saing perusahaan [1].

Boiler merupakan komponen yang sangat penting dalam berbagai sektor industri yang memanfaatkan uap sebagai sumber energi dalam proses produksi. Salah satu jenis boiler yang banyak digunakan adalah water tube boiler, di mana air mengalir melalui pipa-pipa kecil yang dikelilingi oleh gas panas hasil pembakaran [2]. Desain ini memungkinkan boiler untuk beroperasi pada tekanan dan suhu tinggi, sehingga memiliki efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan fire tube boiler [3].

Pengoperasian dalam kondisi ekstrem menyebabkan water tube boiler

rentan mengalami kebocoran pipa akibat berbagai faktor seperti korosi, endapan, fluktuasi tekanan, serta kelelahan material [4]. Kebocoran ini dapat menurunkan efisiensi termal hingga 15%, meningkatkan konsumsi bahan bakar, serta menambah biaya operasional secara signifikan [5]. Deteksi dini serta perbaikan kebocoran menjadi langkah krusial dalam menjaga efisiensi dan keandalan sistem boiler.

Beberapa perusahaan di Indonesia, seperti PT Pertamina dan PT PLN, menghadapi tantangan dalam mengatasi kebocoran pipa pada water tube boiler berbahan bakar diesel oil dan gas alam [6,7]. Uji kebocoran umumnya dilakukan dengan metode hydro test dan uji pneumatik untuk memastikan integritas sistem sebelum dilakukan perbaikan [8]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa perbaikan kebocoran pipa dapat meningkatkan efisiensi boiler dari 74% menjadi 78% setelah perbaikan [9].

Efisiensi operasional boiler sangat bergantung pada keandalan sistem perpipaan [10]. Kebocoran pipa tidak hanya menyebabkan kehilangan energi yang signifikan, tetapi juga berpotensi meningkatkan konsumsi bahan bakar dan memperpendek umur pakai boiler [11]. Kondisi operasional yang ekstrem dapat mempercepat degradasi material pipa, sehingga pemeliharaan dan pemantauan berkala menjadi aspek esensial dalam mencegah kegagalan sistem secara menyeluruh [12].

Penggunaan bahan bakar seperti diesel oil dan gas alam pada water tube boiler memiliki keunggulan tersendiri, baik dari segi efisiensi pembakaran maupun dampak lingkungan [13]. Diesel oil menawarkan pembakaran yang stabil dan cepat, yang cocok untuk industri dengan kebutuhan pemanasan instan, sementara gas alam lebih ramah lingkungan dengan emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil lainnya [14]. Optimalisasi efisiensi boiler tidak hanya berkontribusi dalam pengurangan biaya operasional, tetapi juga mendukung upaya konservasi energi

dan pengurangan dampak lingkungan akibat konsumsi bahan bakar berlebih [15].

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kebocoran pipa terhadap efisiensi konsumsi bahan bakar pada water tube boiler Dunphy TD 530 YML VK serta mengevaluasi efektivitas metode deteksi kebocoran dan dampaknya terhadap efisiensi setelah perbaikan. Selain itu, penelitian ini akan mengkaji strategi pemeliharaan yang dapat diterapkan untuk mengurangi risiko kebocoran serta meningkatkan umur pakai boiler secara keseluruhan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi dalam meningkatkan efisiensi operasional boiler serta meminimalkan kerugian akibat kebocoran pipa, baik dari segi teknis maupun ekonomis.

2. Metode Penelitian

PT. Petrowidada, yang terletak di Jl. Prof. Dr. Moh. Yamin, S.H., adalah salah satu anak perusahaan dari PT. Petrokimia Gresik (Persero) dan PT. Eterindo Wahanatama Tbk. Perusahaan ini bergerak di sektor industri kimia dan dikenal sebagai salah satu produsen utama phthalic anhydride (PA) di Indonesia.

Tabel 1. Data teknis Turbin

Data Unit	Spesifikasi
Type	Tubelur
Tag No.	LG-001 & LG-002
Location	Boiler Shell
C/C Distance	400 mm
Visible Length	275 mm
Operating Pressure	13 kg/cm ² (g)
Operating Temperature	194 Deg.C
Design Pressure	13.8 kg/cm ² (g)
Design Temperature	223 Deg.C
Process Size & Conn	2DNR Flanged to ANSI b16.5 300Lbs
Vent	½" Plugged
Drain	¼" SS Needle Valve
Valve Type	Auto Shut Off Ball Check Valve Cons
Number of Tubes	356 Tube
Tube Diameter	50.8 mm

Sumber : PT. Petrowidada (2024)

Phthalic anhydride adalah bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku dalam industri plastik dan cat. Produksi phthalic anhydride melibatkan dua bahan baku utama: ortho-xylene (OX) dan oksigen (O₂), yang diperoleh dari udara bebas. Senyawa ini dihasilkan melalui reaksi oksidasi parsial dari ortho-xylene dan oksigen.

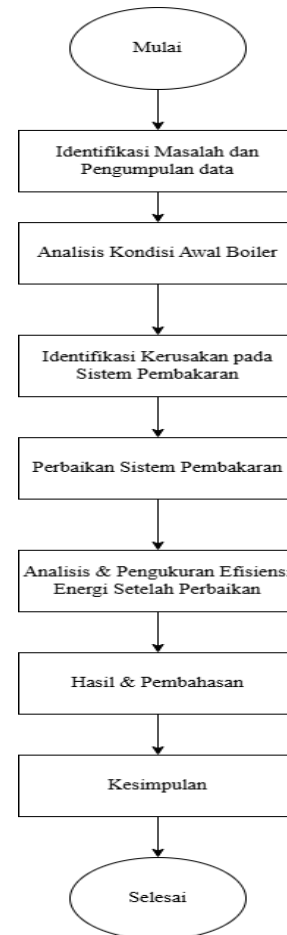
PT. Petrowidada adalah perusahaan berbentuk perseroan dengan status Penanaman Modal Asing (PMA). Perusahaan ini didirikan berdasarkan Surat Pemberitahuan Tentang Persetujuan Presiden (SPTPP) No.12/I/PMA/1985 tertanggal 23 Mei 1985. Tabel 1 Menjelaskan tentang data teknis turbin di PT. Petrowidada.

2.1 Pemantauan Kondisi Boiler

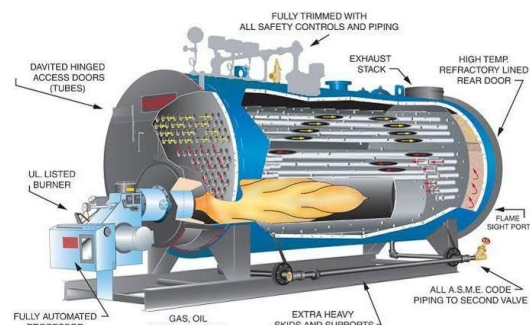
Kondisi boiler yang stabil sangat penting untuk mencegah priming, yang dapat merusak distribusi uap dan pipa superheater. Meskipun kelebihan pasokan udara melebihi kebutuhan teoritis, pembakaran optimal dapat menyebabkan gas buang lebih banyak dan kehilangan energi melalui cerobong. Mengurangi kadar udara berlebihan sangat penting untuk efisiensi energi [11].

Fungsi utama ketel uap adalah mengubah energi kimia bahan bakar menjadi panas, menguapkan air, dan memasok uap dengan tekanan, suhu menghasilkan uap yang dapat digunakan untuk tenaga, dan aliran yang dibutuhkan ke konsumen, terutama turbin uap dalam efisiensi energi yang dihasilkan [7]. Pekerjaan pada teknologi boiler telah dilakukan dalam berbagai arah. Pertama, untuk meningkatkan efisiensinya, parameter uap yang dipasok harus ditingkatkan. Ini berarti bahwa tekanan dan suhu uap harus setinggi mungkin untuk mentransfer jumlah energi maksimum ke turbin. Secara umum, pembakaran bahan bakar (terutama yang kualitasnya rendah) menghasilkan berbagai jenis emisi, baik padat maupun gas [16]. Hal ini, pada gilirannya, menarik lebih banyak perhatian mengingat adanya peningkatan

suhu dan kemungkinan pemanasan global yang tidak dapat dipulihkan. Jumlah emisi yang dilepaskan saat membakar semua jenis bahan bakar telah menjadi perhatian yang dihadapi oleh produsen boiler [3].



Gambar 1. Bagan alir penelitian



Gambar 2. Prinsip Kerja Boiler

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan masalah yang teridentifikasi di lokasi studi, yang kemudian dirumuskan menjadi fokus utama penelitian. Langkah selanjutnya

adalah mengumpulkan data dengan memantau kondisi boiler, terutama terkait dengan kerusakan yang ditemukan pada beberapa tube. Data yang dikumpulkan meliputi hasil uji tekanan dan inspeksi visual untuk mendeteksi kebocoran. Setelah data terkumpul, dilakukan analisis efisiensi energi dengan menghitung efisiensi boiler sebelum dan sesudah perbaikan, serta mengevaluasi rasio udara-bahan bakar. Hasil dari analisis ini kemudian dibahas untuk menarik kesimpulan akhir dari penelitian. Bagan alir tahapan penelitian ini digambarkan dalam Gambar 2 pada dokumen penelitian.

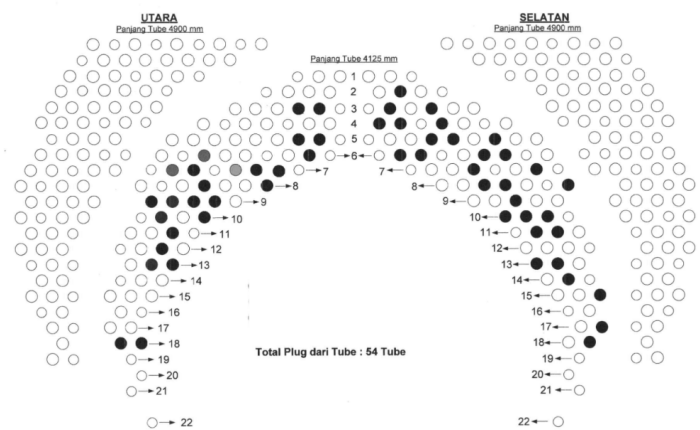
2.3 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini mencakup informasi operasional boiler sebelum dan sesudah kebocoran, serta setelah perbaikan. Parameter utama yang dicatat meliputi efisiensi energi (dalam persentase), konsumsi bahan bakar Diesel Oil dan Natural Gas (dalam kg/jam), serta daya termal boiler. Selain itu, dilakukan observasi visual untuk mendeteksi kerusakan pada pipa, uji tekanan (hydro test) untuk memeriksa tingkat kebocoran, dan analisis pneumatic test untuk mengevaluasi kondisi material. Data kualitas bahan bakar, seperti nilai kalor (kJ/kg), juga dikumpulkan untuk mendukung analisis. Proses pengumpulan data dilakukan melalui pengukuran parameter operasional menggunakan perangkat monitoring, inspeksi visual, serta uji non-destruktif seperti ultrasonic testing untuk memastikan kondisi material. Data yang terkumpul digunakan untuk menganalisis penyebab kerusakan, dampaknya terhadap efisiensi energi, dan keberhasilan perbaikan dalam memulihkan kinerja boiler.

3. Hasil dan Pembahasan

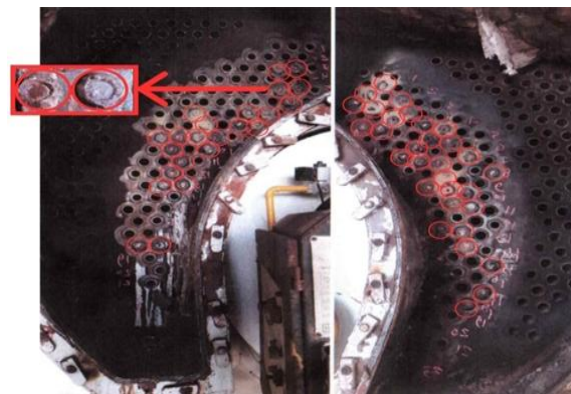
Pada kondisi awal sebelum terjadi kebocoran, mesin boiler DUNPHY TD 530 YML VK beroperasi dengan efisiensi optimal sebesar 83% untuk bahan bakar

Diesel Oil dan 80% untuk Natural Gas. Konsumsi bahan bakar tercatat sebesar 665 kg/jam untuk Diesel Oil dan 705 kg/jam untuk Natural Gas. Parameter ini menunjukkan kinerja boiler yang stabil dan efisien, mendukung proses produksi dengan daya termal yang optimal. Tahun 2024 setelah boiler mengalami kerusakan maka dilakukan perbaikan pada boiler di dapatkan informasi kerusakan trouble dari pemeriksaan di lapangan yaitu terdapat kebocoran pada beberapa tube di mesin boiler.



Gambar 3. Informasi kerusakan

Kebocoran tube pada boiler model TD 530 YML VK dapat disebabkan oleh korosi, overheating, tekanan berlebih, kelelahan material, cacat manufaktur, dan erosi. Faktor-faktor ini terkait dengan kualitas air, suhu operasi, tekanan, siklus pemanasan dan pendinginan, serta kesalahan manufaktur. Pemeliharaan rutin dan pemantauan kondisi sangat penting untuk mencegah kebocoran.



Gambar 4. Kemungkinan penyebab kerusakan

Observasi dan diagnosis kebocoran tube pada boiler model TD 530 YML VK melibatkan inspeksi visual, penggunaan teknik non-destruktif seperti ultrasonik atau radiografi, serta analisis kualitas air untuk mendeteksi korosi. Evaluasi riwayat operasi boiler mengidentifikasi pola overheating atau tekanan berlebih, dan pemeriksaan catatan pemeliharaan serta manufaktur membantu menemukan cacat material atau kesalahan pengelasan.



Gambar 5. Kondisi Boiler



Gambar 6. Tampak boiler

Langkah-langkah ini memungkinkan identifikasi penyebab kebocoran dan penentuan tindakan perbaikan yang tepat. Setelah dilakukan pemeriksaan Hydro test dan Pneumatic test maka didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 2. Pemeriksaan Hydro Tes Kerusakan Pertama

Pemeriksaan	Water Tube	Jumlah
Hydro Test dengan pressure 8 Kg/cm ² .g	Raw 2	1 tube
	Raw 3	1 tube
	Raw 5	3 tube
	Raw 6	1 tube
	Raw 7	1 tube
Hydro Test dengan pressure 14 Kg/cm ² .g	Raw 13	1 tube
	Raw 7	1 tube

Tabel 3. Pemeriksaan Pneumatic Test Kerusakan Pertama

Pemeriksaan	Water Tube	Jumlah
Pneumatic Test pressure 4 Kg/cm ² .g	Raw 1	1 tube
	Raw 2	1 tube
	Raw 3	1 tube
	Raw 4	2 tube
	Raw 5	3 tube
	Raw 7	1 tube
	Raw 8	2 tube
	Raw 12	2 tube
	Raw 14	1 tube
	Raw 15	1 tube
Raw 18	1 tube	

Tabel 4. Pemeriksaan Pneumatic Test Kerusakan Kedua

Pemeriksaan	Water Tube	Jumlah
Pneumatic Test pressure 2 Kg/cm ² .g	Raw 5	1 tube
	Raw 6	1 tube
	Raw 12	1 tube
	Raw 17	1 tube

Tabel 5. Pemeriksaan Pneumatic Test Kerusakan Ketiga

Pemeriksaan	Water Tube	Jumlah
Pneumatic Test pressure 2 Kg/cm ² .g	Raw 5	1 tube
	Raw 6	1 tube
	Raw 8	1 tube

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan didapatkan beberapa jenis gas yang dapat menyebabkan korosi sehingga membuat tube rusak.

Setelah diketahui beberapa kerusakan yang terdapat pada boiler maka dilakukan perhitungan efisiensi energi

sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan dengan menggunakan perhitungan Efisiensi Boiler (Metode Langsung):

$$\eta_{\text{Efisiensi}} = \frac{\text{Energi yang dihasilkan oleh boiler}}{\text{Energi input dari bahan bakar}} \times 100$$

Tabel 6. Gas Penyebab Korosi pada Bahan Bakar Natural Gas

Jenis Gas	Komposisi (Bahan Bakar)	Tingkat Penyebab Korosi	Standar Nilai Pengujian (ppm)
Carbon Dioxide (CO ₂)	5.50% (Natural Gas)	Tinggi	5-6 ppm
Hydrogen Sulphide (H ₂ S)	7.00% (Natural Gas)	Sangat Tinggi	3-4 ppm
Methane (CH ₄)	77.73% (Natural Gas)	Rendah	1-2 ppm
Ethane (C ₂ H ₆)	5.56% (Natural Gas)	Sangat Rendah	<1 ppm
Propane (C ₃ H ₈)	2.18% (Natural Gas)	Rendah	1-2 ppm
Butane (C ₄ H ₁₀)	1.40% (Natural Gas)	Rendah	1-2 ppm
Pentane (C ₅ H ₁₂)	0.63% (Natural Gas)	Sangat Rendah	< 1 ppm

Tabel 7. Tabel Gas Penyebab Korosi pada Bahan Bakar Diesel Oil

Jenis Gas	Komposisi (Bahan Bakar)	Tingkat Penyebab Korosi	Standar Nilai Pengujian (ppm)
Sulphur (S)	0.70% (Diesel Oil)	Tinggi	3-4 ppm
Oxygen + Nitrogen (O ₂ +N ₂)	0.20% (Diesel Oil)	Sedang	2-3 ppm
Hydrogen (H ₂)	12.70% (Diesel Oil)	Rendah	1-2 ppm
Carbon (C)	86.40% (Diesel Oil)	Tinggi	5-6 ppm
Ash (Trace)	Trace (Diesel Oil)	Sangat Rendah	< 1 ppm

Di dapatkan kerusakan pada boiler yang menyebabkan efisiensi sebesar 10%, maka dilakukan perhitungan untuk menilai efisiensi setelah terjadinya kerusakan tersebut.

$$\eta_{\text{Setelah}} = \eta_{\text{Awal}} - (\eta_{\text{Awal}} \times \Delta\eta_k) \quad (2)$$

Keterangan:

η_{Setelah} = Efisiensi setelah kebocoran

η_{Awal} = Efisiensi sebelum kebocoran

$\Delta\eta_k$ = Penurunan efisiensi setelah kebocoran (biasanya dalam bentuk fraksi atau persen)

- Efisiensi Diesel Oil setelah kebocoran = 83% - (83% - 10%) = 74.7 %
- Efisiensi Natural Gas setelah kebocoran = 80% - (80% - 10%) = 72 %

Setelah perbaikan di dapatkan bahwa boiler dapat mengembalikan efisiensi sebesar 95% dari kondisi optimal sebelum kebocoran.

$$\eta_{\text{Setelah perbaikan}} = \eta_{\text{optimal}} \times R_p$$

Keterangan:

$\eta_{\text{Setelah perbaikan}}$ = Efisiensi setelah perbaikan
 η_{optimal} = Efisiensi optimal sebelum kebocoran

R_p = Tingkat perbaikan (%)

- Efisiensi Diesel Oil setelah perbaikan = 83% x 95% = 78.85 %
- Efisiensi Natural Gas setelah perbaikan = 80% x 95% = 76 %

Konsumsi bahan bakar akan meningkat karena efisiensi menurun. Kita dapat memperkirakan konsumsi bahan bakar setelah kebocoran serta setelah dilakukan perbaikan menggunakan rumus sederhana berikut:

$$C_{\text{Setelah}} = \frac{C_{\text{Sebelum}} \times \eta_{\text{Sebelum}}}{\eta_{\text{Setelah}}} \quad (3)$$

Keterangan:

C_{Setelah} = Konsumsi bahan bakar setelah kebocoran

C_{Sebelum} = Konsumsi bahan bakar sebelum kebocoran

η_{Setelah} = Efisiensi sebelum kebocoran

η_{Sebelum} = Efisiensi setelah kebocoran

- Perhitungan konsumsi bahan bakar setelah kebocoran

Konsumsi diesel oil sebelum perbaikan

$$\eta_{\text{sebelum}} = 83\% = 0.83$$

$$\eta_{\text{setelah}} = 74\% = 0.74$$

$$C_{\text{setelah kebocoran}} = \frac{665 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 0.83}{0.74} = 747.3 \text{ kg/jam}$$

Konsumsi natural gas sebelum perbaikan

$$\eta_{\text{sebelum}} = 80\% = 0.80$$

$$\eta_{\text{setelah}} = 72\% = 0.72$$

$$C_{\text{setelah kebocoran}} = \frac{705 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 0.80}{0.72} = 783.33 \text{ kg/jam}$$

- Perhitungan konsumsi bahan bakar setelah perbaikan

Konsumsi diesel oil setelah perbaikan

$$\eta_{\text{sebelum}} = 83\% = 0.83$$

$$\eta_{\text{setelah}} = 78.85\% = 0.7885$$

$$C_{\text{setelah kebocoran}} = \frac{665 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 0.83}{0.7885} = 700.1 \text{ kg/jam}$$

Konsumsi natural gas setelah perbaikan

$$\eta_{\text{sebelum}} = 80\% = 0.80$$

$$\eta_{\text{setelah}} = 76\% = 0.76$$

$$C_{\text{setelah kebocoran}} = \frac{705 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 0.80}{0.76} = 742.1 \text{ kg/jam}$$

Analisis kinerja daya termal boiler dilakukan untuk mengetahui dampak kebocoran pipa terhadap performa mesin boiler DUNPHY TD 530 YML VK. Perhitungan daya termal dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{\text{boiler}} = m_{\text{fuel}} \times CV \times \eta \quad (4)$$

Keterangan:

Q_{boiler} : Daya termal (kW)

m_{fuel} : Laju konsumsi bahan bakar (kg/s)

CV : Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

η : Efisiensi boiler (%)

Setelah kebocoran, konsumsi Diesel Oil meningkat menjadi 747.3 kg/jam dan Natural Gas menjadi 783.33 kg/jam akibat penurunan efisiensi boiler. Setelah perbaikan, konsumsi berkurang menjadi 700.1 kg/jam untuk Diesel Oil dan 742.1 kg/jam untuk Natural Gas, seiring dengan peningkatan efisiensi. Perbaikan ini terbukti mengurangi pemborosan bahan bakar dan

meningkatkan kinerja boiler. Untuk konversi laju konsumsi ke kg/s, digunakan rumus berikut: (5)

$$m_{\text{fuel}} = \frac{\text{Konsumsi bahan bakar} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}} \right)}{3,600}$$

Dengan memasukkan nilai konsumsi bahan bakar setelah kebocoran:

- Perhitungan laju konsumsi bahan bakar setelah kebocoran

Laju konsumsi diesel oil setelah kebocoran

$$m_{\text{fuel}} = \frac{747.3 \text{ kg/h}}{3,600 \text{ s}} = 0.208 \text{ kg/s}$$

Laju konsumsi natural gas setelah kebocoran

$$m_{\text{fuel}} = \frac{783.33 \text{ kg/h}}{3,600 \text{ s}} = 0.2176 \text{ kg/s}$$

- Daya termal boiler setelah kebocoran dapat dihitung sebagai:

$$Q_{\text{boiler}} = m_{\text{fuel}} \times CV \times \eta \quad (5)$$

Daya termal pada diesel oil setelah kebocoran

$$Q_{\text{boiler}} = 0.208 \times 42,500 \times 0.747 = 6,509.1 \text{ kW}$$

Daya termal pada natural gas setelah kebocoran

$$Q_{\text{boiler}} = 0.2176 \times 42,500 \times 0.783 = 7,229.4 \text{ kW}$$

Setelah kebocoran, laju konsumsi Diesel Oil mencapai 0.208 kg/s dengan daya termal boiler sebesar 6,509.1 kW, sementara Natural Gas mencapai 0.2176 kg/s dengan daya termal 7,229.4 kW. Setelah perbaikan, konsumsi bahan bakar menurun menjadi 700.1 kg/jam untuk Diesel Oil dan 742.1 kg/jam untuk Natural Gas, dengan peningkatan efisiensi boiler. Perhitungan laju konsumsi bahan bakar setelah perbaikan adalah:

- Perhitungan laju konsumsi bahan bakar setelah perbaikan

Laju konsumsi diesel oil setelah kebocoran

$$m_{\text{fuel}} = \frac{700.1 \text{ kg/h}}{3,600 \text{ s}} = 0.194 \text{ kg/s}$$

Laju konsumsi natural gas setelah kebocoran

$$m_{\text{fuel}} = \frac{742.1 \text{ kg/h}}{3,600 \text{ s}} = 0.206 \text{ kg/s}$$

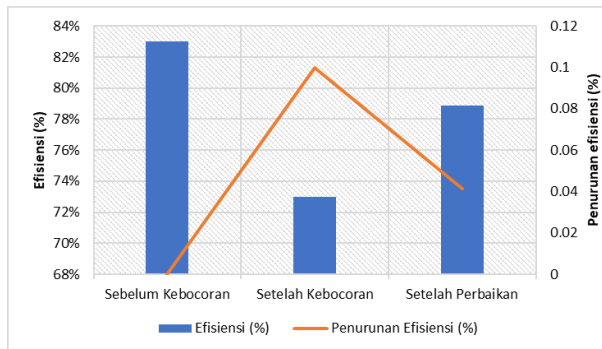
- Daya termal boiler setelah perbaikan dapat dihitung sebagai:

Daya termal pada diesel oil setelah perbaikan

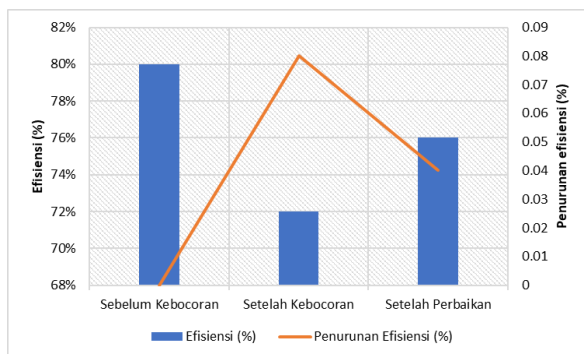
$Q_{boiler} = 0.206 \times 42,500 \times 0.783 = 6,849.17 \text{ kW}$
 Daya termal pada natural gas setelah perbaikan

$$Q_{boiler} = 0.202 \times 42,500 \times 0.747 = 6,404.6 \text{ kW}$$

Setelah perbaikan, laju konsumsi bahan bakar menurun, meningkatkan efisiensi pembakaran. Daya termal yang dihasilkan mencapai 6,849.17 kW untuk Diesel Oil dan 6,404.6 kW untuk Natural Gas, menunjukkan pengurangan pemborosan energi.



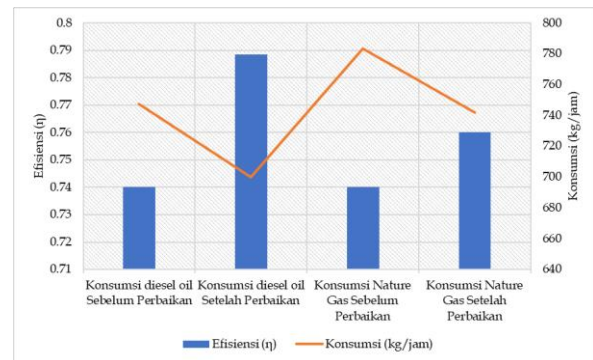
Gambar 7. Grafik efisiensi diesel oil pada boiler Dunphy TD 530 YML VK



Gambar 8. Grafik efisiensi nature gas pada boiler Dunphy TD 530 YML VK

Penurunan efisiensi pada boiler Dunphy TD 530 YML VK pada gambar 7 dan 8, terjadi akibat kebocoran yang menyebabkan kehilangan panas berlebih dan gangguan pada proses pembakaran. Kebocoran pada sistem mengakibatkan perpindahan panas yang tidak terkendali, sehingga energi yang seharusnya dikonversi menjadi panas justru terbuang. Selain itu, ketidakseimbangan aliran bahan bakar dan udara akibat kebocoran menurunkan efisiensi pembakaran, menyebabkan penggunaan bahan bakar yang lebih tinggi

untuk menghasilkan energi yang sama. Setelah perbaikan dilakukan, kehilangan panas dapat dikurangi dan aliran bahan bakar kembali stabil, sehingga proses pembakaran menjadi lebih efisien. Hal ini menyebabkan peningkatan efisiensi, meskipun tidak sepenuhnya kembali ke kondisi awal sebelum kebocoran terjadi.

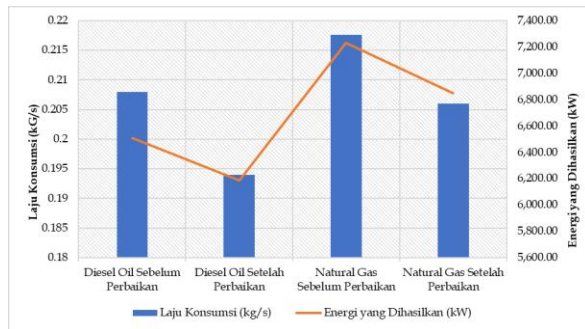


Gambar 9. Grafik konsumsi bahan bakar diesel oil dan nature gas pada boiler Dunphy TD 530 YML VK

Perbaikan pada boiler Dunphy TD 530 YML VK berdampak pada perubahan konsumsi bahan bakar akibat peningkatan efisiensi sistem. Sebelum diperbaiki, kebocoran dalam boiler menyebabkan hilangnya energi panas yang cukup besar, sehingga penggunaan bahan bakar menjadi lebih tinggi untuk menjaga performa operasional. Setelah kebocoran diperbaiki, kehilangan energi berkurang dan proses pembakaran menjadi lebih efisien. Hal ini mengakibatkan penurunan konsumsi bahan bakar karena energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan dengan lebih optimal dalam sistem. Perbandingan konsumsi bahan bakar sebelum dan setelah perbaikan dapat diamati pada Gambar 9.

Setelah perbaikan, laju konsumsi bahan bakar menurun karena peningkatan efisiensi sistem pembakaran dan pengurangan kehilangan energi akibat kebocoran. Sebelum perbaikan, kebocoran dalam sistem menyebabkan pasokan bahan bakar yang tidak terkontrol dan kehilangan panas yang mengurangi efisiensi pembakaran. Setelah kebocoran diperbaiki, aliran bahan bakar menjadi lebih stabil,

pembakaran lebih sempurna, serta transfer panas lebih optimal, sehingga bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan energi tertentu berkurang. Pada diesel oil dan natural gas, perbaikan ini mengurangi laju konsumsi bahan bakar karena proses konversi energi menjadi lebih efektif. Perubahan ini dapat dilihat pada Grafik Gambar 10.



Gambar 10. Grafik pengaruh laju konsumsi bahan bakar pada boiler Dunphy TD 530 YML VK

Setelah dilakukan perbaikan, efisiensi boiler Dunphy TD 530 YML VK mengalami peningkatan yang signifikan. Pada penggunaan diesel oil, efisiensi meningkat dari 74% menjadi 78.85%, dengan konsumsi bahan bakar yang berkurang dari 747.3 kg/jam menjadi 700.1 kg/jam. Sementara itu, pada penggunaan natural gas, efisiensi naik dari 74% menjadi 76%, dengan konsumsi bahan bakar yang menurun dari 783.33 kg/jam menjadi 742.1 kg/jam. Data ini menunjukkan bahwa perbaikan kebocoran melalui penutupan pipa telah mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan stabilitas aliran bahan bakar, sehingga optimalisasi pembakaran dapat tercapai.

4. Kesimpulan

Analisis terhadap sistem boiler Dunphy TD 530 YML VK menunjukkan bahwa kebocoran pada sistem berdampak signifikan terhadap efisiensi dan konsumsi bahan bakar. Pada penggunaan diesel oil, efisiensi mengalami penurunan dari 83% menjadi 73%, sementara pada natural gas turun dari 80% menjadi 72%, mengindikasikan adanya kehilangan energi

yang besar. Setelah perbaikan dilakukan, efisiensi meningkat menjadi 78.85% untuk diesel oil dan 76% untuk natural gas, yang menunjukkan perbaikan performa meskipun belum sepenuhnya kembali ke kondisi awal. Konsumsi bahan bakar juga mengalami pengurangan, dari 747.3 kg/jam menjadi 700.1 kg/jam untuk diesel oil dan dari 783.33 kg/jam menjadi 742.1 kg/jam untuk natural gas, menandakan peningkatan efisiensi pembakaran serta pengurangan pemborosan energi. Meskipun energi yang dihasilkan sedikit menurun setelah perbaikan, yakni menjadi 6,188.90 kW untuk diesel oil dan 6,849.17 kW untuk natural gas, hal ini terjadi akibat optimalisasi sistem yang berhasil mengurangi kehilangan energi yang tidak dimanfaatkan. Oleh karena itu, perawatan rutin dan penanganan kebocoran sangat penting dalam menjaga efisiensi sistem boiler serta mengurangi biaya operasional dalam jangka panjang. Penelitian lanjutan dapat difokuskan pada pengembangan metode perawatan yang lebih efektif serta penerapan teknologi pengendalian kebocoran guna meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih diucapkan terhadap semua pihak yang telah mendukung penelitian ini, terutama PT. Petrowidada yang bersedia memberikan data dan informasi.

Referensi

- [1] Adrian, J. (2016). *Analisa Kerusakan Superheater Tube Boiler Tipe ASTM A213 Grade T11 pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap*. Jurnal Teknik ITS, 5(2). DOI : 10.12962/j23373539.v5i2.18561
- [2] Alwepo, 2023. [Online] Available at: <https://alwepo.com/masalah-pada-boiler-dan-penanganannya/> [Accessed Sunday August 2024].
- [3] Belyakov, N., 2019. *Sustainable Power Generation-Current Status*,

- Future Challenges, and Perspectives*. s.l.:Academic Press.
- [4] Ichihara, T., Amano, Y., & Machida, M. 2023. Hydrogen Damage In A Power Boiler: A Study Of Damage Selectivity And Conditions. *Engineering Failur Analysis*,143, 106842. 10.1016/J.Engfailanal.2022.106842
- [5] IESR, 2024. *Iesr - Efisiensi Energi* [Online] Available At: <https://iesr.or.id/efisiensi-energi/> [Accessed Sunday August 2024].
- [6] Julionardo, S. (2016). *Analisa Efisiensi Boiler dengan Metode Heat Loss Sebelum dan Sesudah Overhaul di PT. Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3*. Jurnal Powerplant.
- [7] Khaleel, O. J., Basim Ismail, F., Khalil Ibrahim, T., & Bin Abu Hassan, S. H. 2022. Energy And Exergy Analysis Of The Steam Power Plants: A Comprehensive Review On The Classification, Development, Improvements, And Configurations. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(3), 101640. DOI:10.1016/J.Asej.2021.11.009
- [8] Madejski, P., & Żymełka, P. 2020. Calculation Methods Of Steam Boiler Operation Factors Under Varying Operating Conditions With The Use Of Computational Thermodynamic Modeling. *Energy*,197.117221.DOI: 10.1016/J.Energy.2020.117221
- [9] Masaji, M., Aisha, N., & Soeprijanto. (2023). *Efisiensi Boiler dengan Penambahan Alat Economizer sebagai Pre-Heater Steam*. Jurnal Teknik ITS, 12(3), 45-58. DOI: 10.12962/j23373539.v12i3.119505
- [10] Muzaki, I. & Mursadin, A., 2019. Analisis Efisiensi Boiler Dengan Metode Input– Output Di Pt. Japfa Comfeed Indonesia Tbk. Unit Banjarmasin. *Sjme Kinematika*, 4(1), P. 1.
- [11] Naibaho, P. M., 2016. *Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit*. 1 Ed. Medan: Pusat Penelitian Kelapa Sawit.
- [12] 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. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 03(01), P. 2.
- [13] Sutarto, Burhanudin, A. & Setyoadi, Y., 2023. Analisa Sistem Pembakaran Burner Berbahan Bakar Solar Untuk Boiler Kapasitas 100 Kg. *Jurnal Ilmiah Pgsd Fkip Universitas Mandiri*, 9(4), P. 1.
- [14] Yuliyani, I., Maridjo & M, M. A., 2023. Analisis Sistem Ruang Bakar Boiler Jenis Fluidized Bed Combustion Untuk Pltu Kapasitas 8 Mw. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), P. 1.
- [15] Yulia, F. Et Al., 2022. Peningkatan Efisiensi Boiler Dalam Penghematan Energi Dan Pengurangan Emisi Gas Buang : Teknikal Review. *Prosiding SNTTM*, P. 2.
- [16] Yuguang , N. Et Al., 2020. Case-Based Reasoning Based On Grey-Relational Theory For The Optimization Of Boiler Combustion Systems. *Isa Transactions*, Pp. 4-10.