

Pengaruh Main Overhaul pada Boiler Terhadap Kinerja Menggunakan Metode *Direct*

Salsabila Gina Nursyfa^{1*}, Ika Yuliyani¹, Ratu Fenny Muldiani¹

¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Desa Ciwaruga, Kec. Parongpong Kab.Bandung Barat - 40559
E-mail: salsabila.gina.tken21@polban.ac.id*

Abstract

Boiler performance is critical for optimal operation, so it requires continuous monitoring to prevent performance degradation. Decreased performance can be caused by drying, reduced fuel and feed water quality, and poor maintenance. One preventive measure is to carry out an overhaul. This research analyzes the effect of overhaul on boiler performance using data before and after overhaul, with a focus on the evaporation ratio and boiler efficiency. The research results show an increase in the evaporation ratio from 17.26 to 18.23 and efficiency from 77.12% to 79.56% after overhaul. This increase shows that the overhaul has succeeded in improving boiler performance. Increased boiler performance occurs as a result of overhaul activities, which include cleaning and replacing equipment. This maximizes heat transfer between the feed water and the gases resulting from fuel combustion.

Keywords: Boiler performance, Overhaul, Evaporation ratio, Boiler efficiency, Direct method.

Abstrak

Kinerja boiler sangat penting untuk operasi yang optimal, sehingga perlu pemantauan terus-menerus untuk mencegah penurunan kinerja. Penurunan kinerja dapat disebabkan oleh pengeringan, menurunnya kualitas bahan bakar dan air umpan, serta perawatan yang buruk. Salah satu langkah pencegahan adalah melakukan overhaul. Penelitian ini menganalisis pengaruh overhaul terhadap kinerja boiler menggunakan data sebelum dan sesudah overhaul, dengan fokus pada rasio evaporasi dan efisiensi boiler. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan rasio evaporasi dari 17.26 menjadi 18.23 dan efisiensi dari 77.12% menjadi 79.56% setelah overhaul. Peningkatan ini menunjukkan bahwa overhaul berhasil meningkatkan kinerja boiler. Peningkatan kinerja boiler terjadi sebagai akibat kegiatan overhaul, yang meliputi pembersihan dan pergantian peralatan. Hal ini memaksimalkan perpindahan panas antara air umpan dan gas hasil pembakaran bahan bakar.

Kata Kunci: Kinerja Boiler, Efisiensi Boiler, Rasio Evaporasi, Metode Direct, Overhaul

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki potensi energi primer yang besar, dengan minyak bumi sebagai salah satu sumber energi penting. Pertamina, sebagai *holding company* di sektor energi, memiliki peran strategis dalam mengolah minyak mentah menjadi produk non BBM, BBM, dan petrokimia. Salah satu unit operasionalnya adalah Kilang RU VI Balongan yang memiliki unit *Utilities* dengan 9 boiler untuk menghasilkan steam.

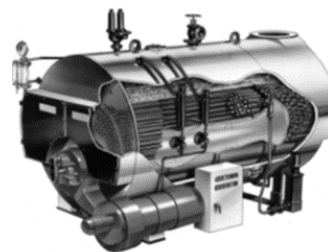
Kinerja boiler penting untuk memastikan operasi boiler berjalan baik. Penurunan kinerjanya dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti pengeringan pada permukaan transfer panas, kualitas bahan bakar dan air umpan yang buruk, dan perawatan yang kurang baik. Salah satu cara untuk mencegah penurunan kinerja boiler adalah dengan melakukan *overhaul*, yaitu proses perbaikan, pemeliharaan, dan pengujian menyeluruh pada boiler.

Overhaul dapat dilakukan karena beberapa faktor, seperti usia boiler yang sudah obsolete, penurunan performa akibat kualitas air yang buruk, atau sebagai proses pemeliharaan berkala. *Overhaul* membutuhkan biaya yang besar, sehingga perlu dilakukan *treatment*

seperti resertifikasi dan menjaga kualitas air umpan untuk meningkatkan performa boiler.

Tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *overhaul* pada kinerja boiler dan faktor penyebab dilakukannya *overhaul* dengan menggunakan metode langsung pada boiler di PT. Kilang Pertamina Internasional RU VI Balongan.

1.2 Boiler



Gambar 1. Boiler [5]

Boiler atau biasa disebut ketel uap merupakan alat penukar kalor, yang dapat menghasilkan uap dengan mengubah energi panas dari hasil pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Uap yang dihasilkan tersebut

memiliki tekanan dan temperature yang tinggi sehingga nantinya akan digunakan untuk penggerak utama turbin uap.

Boiler menghasilkan uap panas (*steam*) bertekanan tinggi, yang lebih tinggi dari tekanan atmosfer. Uap panas ini dihasilkan dari proses pemanasan air sebagai bahan baku utama. Pembakaran yang dilakukan pada bahan bakar merupakan salah satu peran yang membantu proses pemanasan air pada boiler. Boiler biasanya menggunakan bahan bakar cair, padat atau gas. Dengan mengalirkan bahan bakar dan udara dari luar, dilakukan pembakaran pada ruang bakar didalam boiler, dari pembakaran tersebut energi panas yang dihasilkan akan ditransferkan pada air sehingga terjadi perubahan fasa dari air menjadi uap panas.

Boiler memiliki beberapa sistem diantaranya terdiri dari sistem air umpan (*Feed Water System*), sistem bahan bakar (*Fuel System*) dan sistem steam (*Steam System*). Sistem air umpan (*Feed Water System*) berfungsi sebagai penyedia air untuk kebutuhan produksi steam secara otomatis. Sistem ini mengolah air baku hingga siap untuk di produksi oleh boiler untuk menjadi uap panas atau steam. Sistem uap (*Steam System*) merupakan sistem yang berfungsi untuk mengontrol dan mendistribusikan *steam* yang dihasilkan boiler. Aliran uap tersebut tekanannya dipantau dengan alat dan diatur menggunakan *valve*. Sistem bahan bakar (*Fuel System*) merupakan sistem yang berfungsi untuk menyediakan, mengolah, dan mendistribusikan bahan bakar ke ruang bakar boiler untuk menghasilkan kalor.

1.3 Gangguan Pada Boiler

Gangguan atau penurunan performa boiler sering disebabkan oleh pembentukan kerak atau kotoran di dalam pipa-pipa boiler. Kerak dan kotoran ini menghambat perpindahan panas dari gas panas ke air umpan, membentuk lapisan isolasi yang mengurangi efisiensi boiler dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Selain itu, hambatan panas ini dapat menyebabkan kerusakan pada pipa dan komponen boiler lainnya. Penyebab utama pembentukan kerak dan kotoran adalah kualitas air umpan yang buruk, proses pembakaran yang tidak sempurna, dan kurangnya perawatan boiler. Kerusakan ini dapat dicegah atau diminimalkan dengan perawatan yang baik pada boiler.

1.4 Perawatan Pada Boiler

Perawatan boiler adalah kegiatan menjaga dan memelihara boiler serta memperbaiki atau mengganti komponen yang diperlukan agar beroperasi optimal dan mencapai umur mesin yang diharapkan, sehingga dapat menekan biaya kerusakan. Menurut P. Daeng Yudi [6], tujuan utama perawatan boiler adalah meningkatkan kemampuan produksi, menjaga kualitas produksi, memastikan operasi yang aman, mencapai umur mesin yang sesuai, dan meminimalkan kerusakan komponen.

Umumnya ada 2 jenis perawatan yang dilakukan pada boiler:

1. Perawatan saat boiler beroperasi

Perawatan saat boiler beroperasi melibatkan pemeriksaan harian dan pengendalian penuh pada semua boiler, termasuk pengisian air umpan sesuai standar untuk mengurangi penumpukan endapan dan kerak yang dapat menurunkan efisiensi. Pemeriksaan pompa pengisi air umpan juga penting untuk memastikan suplai air sesuai kebutuhan operasional. Penggunaan bahan bakar berkualitas tinggi diperlukan untuk proses pembakaran yang efisien, dan katup pengaman harus dipelihara serta disesuaikan dengan standar. Perawatan boiler dilakukan secara harian, mingguan, dan bulanan untuk memastikan operasi yang aman, efisien, dan bebas dari kerusakan dini.

2. Perawatan saat boiler tidak beroperasi

Perawatan ini mengacu pada perawatan yang dilakukan ketika boiler sedang tidak beroperasi, yang bertujuan untuk memperbaiki kerusakan, mengganti komponen yang aus, dan meningkatkan performa boiler. Jenis perawatan yang dilakukan saat boiler tidak beroperasi adalah *minor overhaul* dan *major overhaul*.

1.5 Overhaul

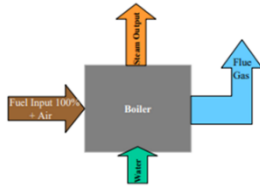
Overhaul adalah proses pemulihan peralatan, mesin, atau sistem ke kondisi optimal seperti baru. Proses ini melibatkan pembongkaran, inspeksi, perbaikan atau penggantian komponen, serta pengujian untuk memastikan fungsionalitas yang baik. *Overhaul* terbagi menjadi *Minor* dan *Major Overhaul*.

- *Minor Overhaul* adalah perawatan sederhana yang tidak melibatkan pembongkaran total atau penggantian komponen utama. Tindakan yang dilakukan meliputi pembersihan rutin, pemeriksaan komponen utama, penyetelan dan kalibrasi, serta pergantian isolasi dan perlindungan.
- *Major Overhaul* adalah perawatan yang melibatkan pembongkaran sebagian atau keseluruhan boiler, terutama untuk unit yang sudah lama beroperasi. Langkah-langkahnya meliputi pembongkaran dan pembersihan, pemeriksaan dan pergantian komponen, pergantian isolasi, dan pengecekan *Pressure Safety Valve (PSV)*. Tujuannya adalah mengembalikan kondisi optimal, memperpanjang masa pakai, dan meningkatkan efisiensi boiler.

1.6 Kinerja Boiler

Kinerja boiler dapat dilihat dari efisiensi serta rasio penguapan. Dua hal tersebut dapat mengalami penurunan nilai disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna, kotornya komponen boiler, pengoperasian yang tidak sesuai dengan aturan serta buruknya pemeliharaan yang dilakukan pada boiler. Pada penelitian kali ini perhitungan kinerja boiler yang dilakukan meliputi efisiensi boiler dengan metode langsung serta rasio evaporasi. Dibawah ini merupakan rumus dari efisiensi boiler serta rasio evaporasi.

i. Efisiensi Metode Langsung (*Direct Method*)



Gambar 2. Skematik Diagram Boiler

$$\eta = \frac{Q \times (hs - hw)}{q \times GCV} \times 100 \quad (1)$$

Keterangan :

- η = Efisiensi Boiler (%)
- Q = Uap yang dihasilkan (kg/h)
- hs = Entalpi Uap (kCal/kg)
- hw = Entalpi feed water (kCal/kg)
- q = Konsumsi bahan bakar (kg/h)
- GCV = Nilai kalor bruto bahan bakar (kCal/kg)

ii. Rasio Penguapan

$$\text{Rasio evaporasi} = \frac{\text{Quantity of steam generation}}{\text{Quantity of fuel generation}} \quad (2)$$

Keterangan :

- $\text{Quantity of steam generation}$ = massa steam (kg)
- $\text{Quantity of fuel generation}$ = massa konsumsi bahan bakar (kg).

2. Metodologi

2.1 Alat Penelitian



Gambar 3. Boiler Kilang Pertamina [5]

Boiler di PT Kilang Pertamina Internasional Balongan adalah bagian dari Pembangkit Tenaga Uap dengan jenis package dan sistem water tube, dimana air di dalam pipa dipanaskan terus menerus hingga menjadi *steam* sebagai produk akhir. Boiler ini dilengkapi dengan *superheater*, *economizer*, *steam drum*, dan sistem pembakaran. Dua jenis bahan bakar yang digunakan adalah *Fuel Oil* (Atmospheric Residue) dan *Fuel Gas* (Natural Gas). Saat *start up*, boiler dikendalikan melalui *Local Control Panel (LCP)*, sedangkan dalam kondisi normal, pengendalian dilakukan dari *Panel Control Process & Utility (DCS)*.

Berikut ini merupakan spesifikasi dari Boiler 52-B-101A yang terdapat pada PT Kilang Pertamina Internasional Refinery Unit VI Balongan :

Type	: IHI – SC – 261 S
capacity	: 115 T/H
Working Pressure	: 43 kg/cm ² g
Working Temperature	: 380°C (superheated)
Overall Height	: 8,7 m
Overall Widht	: 6,6 m
Overall Depth	: 12,2 m
Heating Surface	: 3502 m ²

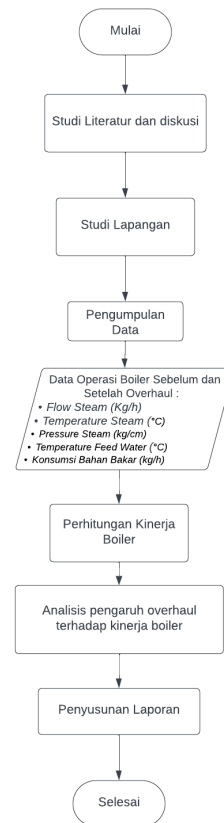
2.2 Bahan Penelitian

Data yang menunjang perhitungan kinerja boiler diperoleh penulis dari situs web pegawai Pertamina, yang diambil oleh pihak lain, meliputi data *flow steam*, konsumsi bahan bakar gas alam, dan residu atmosferik. Sementara itu, nilai GCV bahan bakar diperoleh dari referensi yang bersumber dari laboratorium Pertamina pada tahun 2020. Parameter yang digunakan dalam perhitungan kinerja boiler ini adalah:

Tabel 1. Parameter Kinerja Boiler

Heat Output Data		
No	Parameter	Satuan
1	Flow Steam (Q)	kg/h
2	Temperature Steam	°C
3	Pressure Steam	kg/cm ²
4	Temperature Feed Water	°C
Heat Input Data		
No	Parameter	Satuan
1	Konsumsi BB (Natural Gas)	kg/h
2	Konsumsi BB (Atmospheric Residue)	kg/h
3.	GCV Natural Gas	kCal/kg
4.	GCV Atmospheric Residue	kCal/kg

2.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gangguan serta Kerusakan Pada Boiler di PT. Kilang Pertamina Balongan

1. Kebocoran Pipa



Gambar 5. Kebocoran Pipa Boiler

Kebocoran pipa boiler dapat disebabkan oleh korosi yang menipiskan dinding pipa secara perlahan, serta kualitas air umpan yang buruk dan tidak sesuai spesifikasi. Kerak pada pipa juga menyebabkan kebocoran dengan menghambat perpindahan panas, sehingga pipa menjadi terlalu panas dan cepat rusak.

2. Pipa Boiler Pecah



Gambar 6. Pipa Boiler Pecah

Pecahnya pipa boiler, yang lebih parah dan terjadi tiba-tiba dibandingkan kebocoran, disebabkan oleh korosi dan penurunan kualitas material pipa, membuat pipa rentan terhadap tekanan tinggi.

3. *Bulging* pada Pipa Boiler



Gambar 7. *Bulging* pada pipa boiler

Bulging pada pipa boiler disebabkan oleh *overheating*, yang melemahkan material pipa dan membuatnya menonjol. Jika tidak segera ditangani dengan mengganti pipa atau mengontrol suhu, *bulging* dapat menyebabkan kebocoran atau pecah.

4. Terlalu Banyak Pipa *Patching* pada Boiler



Gambar 8. *Patching* pada pipa boiler

Patching pada pipa boiler adalah perawatan sementara untuk pipa yang bocor atau pecah, namun tidak direkomendasikan karena dapat menjadi titik lemah dan berisiko pecah, membahayakan operasi boiler.

5. Banyaknya Pipa *Plugging* pada Boiler



Gambar 9. *Plugging* pada Pipa Boiler

Plugging pada pipa boiler menghentikan aliran fluida melalui pipa yang rusak seperti bocor, retak, atau korosi. *Plugging* bukan solusi permanen karena jika terlalu banyak pipa yang di-plug, kapasitas boiler akan menurun.

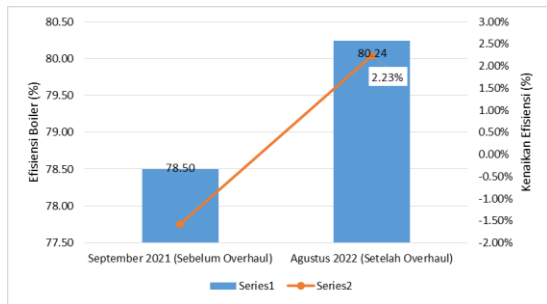
3.2 Main Overhaul Pada Boiler di PT. Kilang Pertamina Balongan

Proses overhaul boiler 52-B-101A di PT Kilang Pertamina Balongan berlangsung selama 7 bulan, dimulai pada bulan September 2021 dan selesai pada bulan April 2022. Diawali dengan pemeriksaan awal untuk mengidentifikasi kerusakan pada boiler, kemudian dilakukan serangkaian kegiatan *overhaul* termasuk pembersihan, perbaikan, dan penggantian komponen boiler. Berikut ini merupakan kegiatan *overhaul* yang dilakukan di PT Kilang Pertamina Balongan.

- 1) Pengecekan Kondisi *Refractory*
- 2) Pergantian Serta Pembersihan Pipa Boiler
- 3) Pembersihan pada *Strainer* Pompa dan *Fuel Oil*
- 4) Pengecekan Katup Pengaman Tekanan
- 5) Pengoperasian *Soot Blower*
- 6) *Blow down Valve*
- 7) Pembersihan *Air Register*
- 8) Pembersihan atau pergantian Gelas Penduga

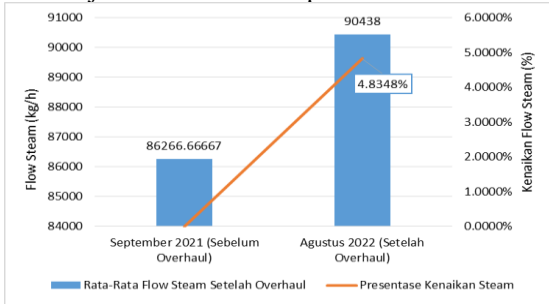
3.3 Analisis Pengaruh Main Overhaul Boiler Terhadap Kinerja

Pengoperasian boiler di PT Kilang Pertamina Balongan sering terkendala oleh kerusakan komponen. Untuk mengatasi kerugian akibat kerusakan ini, dilakukan maintenance seperti *overhaul*, yang meliputi pembersihan, perbaikan, atau penggantian komponen. Setelah *overhaul*, diharapkan kerugian berkurang. Kinerja boiler dihitung sebelum dan sesudah *overhaul*, lalu dianalisis untuk mengetahui pengaruh *overhaul* terhadap kinerja boiler.



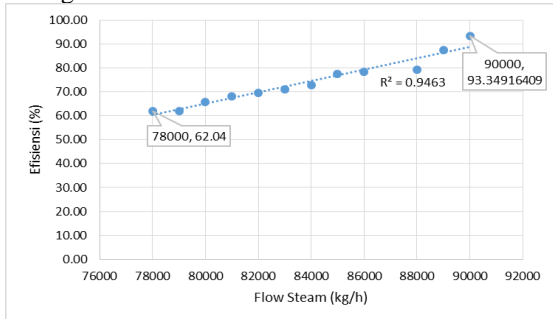
Gambar 10. Grafik Perbandingan Efisiensi Boiler Sebelum & Setelah Overhaul

Diagram menunjukkan efisiensi boiler sebelum dan setelah *overhaul*. Sebelum *overhaul*, efisiensi boiler pada September 2021 mencapai 78.50%, sementara setelah *overhaul* pada Agustus 2022, efisiensi meningkat menjadi 80.24%. Grafik juga menunjukkan peningkatan efisiensi sebesar 2.23% setelah *overhaul*. Analisis menunjukkan bahwa *overhaul* boiler efektif meningkatkan efisiensi dengan melibatkan pembersihan, perbaikan, dan penggantian komponen yang rusak, sehingga komponen boiler dapat bekerja maksimal setelah proses *overhaul*.

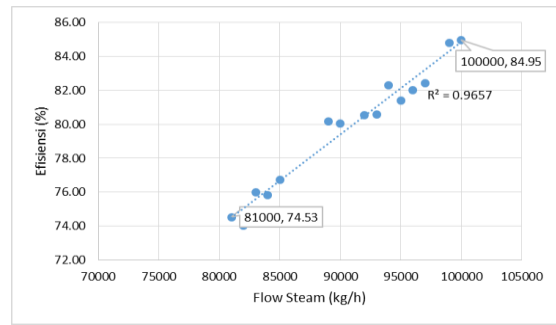


Gambar 11. Grafik Perbandingan Flow Steam Sebelum & Setelah Overhaul

Gambar 11 menunjukkan peningkatan *flow steam* setelah *overhaul* boiler dari 86.266 kg/h menjadi 90.438 kg/h, atau meningkat sebesar 4.83%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa *overhaul* memberikan pengaruh positif pada proses operasional boiler dengan memaksimalkan perpindahan panas antara udara pembakaran dan air umpan, serta meningkatkan efisiensi boiler secara keseluruhan.



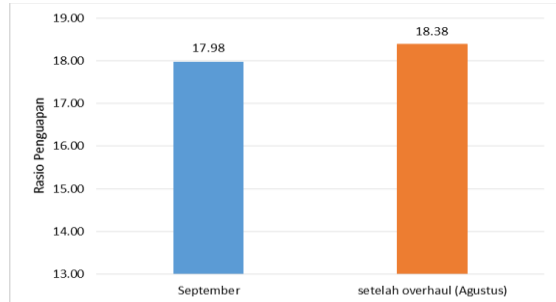
Gambar 12. Grafik Pengaruh Flow Steam Terhadap Efisiensi Boiler Sebelum Overhaul



Gambar 13. Grafik Pengaruh Flow Steam Terhadap Efisiensi Boiler setelah Overhaul

Gambar 12 menunjukkan bahwa sebelum kegiatan *overhaul* pada bulan September 2021, hubungan antara aliran *steam* dan efisiensi boiler berbanding lurus. Semakin tinggi aliran *steam*, semakin tinggi pula efisiensi boiler yang tercapai. Rentang aliran *steam* bervariasi antara 78.000 Kg/H hingga 90.000 Kg/H, dengan efisiensi meningkat seiring dengan peningkatan aliran *steam*. Fenomena ini menunjukkan bahwa boiler mampu mentransfer

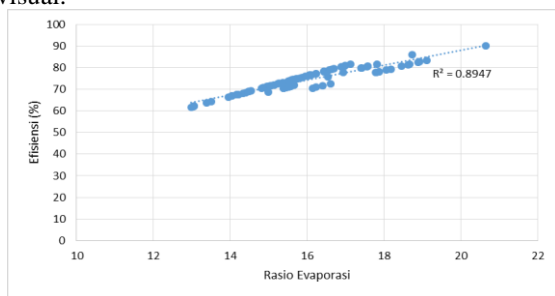
lebih banyak panas dari pembakaran bahan bakar ke air umpan, menghasilkan uap dengan efisiensi yang optimal. Setelah dilakukan *overhaul*, Gambar 13 juga memperlihatkan hubungan yang serupa antara aliran *steam* dan efisiensi boiler, dengan peningkatan signifikan dalam nilai aliran *steam* yang mencapai 100.000 Kg/H dan efisiensi yang lebih tinggi. Proses *overhaul* yang meliputi pembersihan dan penggantian pipa tidak hanya meningkatkan kinerja boiler dalam perpindahan panas, tetapi juga mengatasi kebocoran pipa yang dapat mengurangi kapasitas boiler. Dengan demikian, peningkatan aliran *steam* setelah *overhaul* menunjukkan bahwa boiler dapat beroperasi lebih efisien.



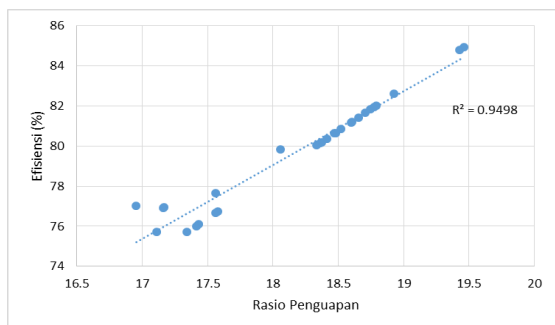
Gambar 14. Grafik Perbandingan Rasio Penguapan Sebelum & Setelah Overhaul

Grafik rasio penguapan menunjukkan efisiensi penggunaan bahan bakar untuk menghasilkan uap pada operasional boiler. Sebelum *overhaul*, rasio evaporasi mencapai 17.98, sedangkan setelah *overhaul* meningkat menjadi 18.23. Peningkatan ini terjadi karena penggantian komponen yang rusak seperti pipa, katup, dan *burner*, yang membuat proses pembakaran dan perpindahan panas menjadi lebih optimal. Rasio evaporasi yang lebih tinggi menunjukkan bahwa boiler dapat menghasilkan lebih banyak uap dengan bahan bakar yang lebih efisien, meningkatkan efisiensi keseluruhan boiler. Grafik di

bawah ini mengilustrasikan peningkatan ini secara visual.



Gambar 15. Grafik Pengaruh Rasio Penguapan Terhadap Efisiensi Boiler Sebelum Overhaul



Gambar 16. Grafik Pengaruh Rasio Penguapan Terhadap Efisiensi Boiler Setelah Overhaul

Gambar 15 menunjukkan perbandingan rasio evaporasi terhadap efisiensi boiler sebelum dan setelah dilakukan *overhaul* pada Bulan September 2021 dan Agustus 2022. Sumbu x menunjukkan nilai rasio evaporasi, sedangkan sumbu y menunjukkan nilai presentase efisiensi boiler. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai rasio evaporasi berbanding lurus dengan efisiensi boiler, yang menunjukkan bahwa peningkatan rasio evaporasi juga menghasilkan peningkatan efisiensi boiler.

Gambar 16 pada bulan Agustus 2022 menunjukkan tren linear positif yang sama seperti sebelum overhaul, menegaskan bahwa *overhaul* berhasil meningkatkan rasio evaporasi dan efisiensi boiler secara keseluruhan. Peningkatan rasio evaporasi ini terjadi karena optimalisasi proses pembakaran bahan bakar dan perpindahan panas dari udara hasil pembakaran ke air umpan yang lebih baik selama proses *overhaul*, yang melibatkan pembersihan *burner*, *soot blowing*, dan penggantian pipa. Oleh karena itu, *overhaul* berhasil meningkatkan efisiensi boiler dengan meningkatkan rasio evaporasi secara signifikan.

4. Simpulan

Berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kegiatan *overhaul* yang dilakukan pada boiler berdampak pada kenaikan nilai rasio evaporasi serta efisiensi boiler. Hal ini dibuktikan pada perhitungan yang dilakukan, nilai rasio evaporasi

boiler adalah 17.98. Setelah *overhaul*, nilai rasio evaporasi mengalami peningkatan hingga mencapai 18.38. Peningkatan serupa juga terjadi pada nilai efisiensi boiler. Sebelum *overhaul*, efisiensi boiler berada pada nilai 78.50. Setelah *overhaul*, efisiensi boiler mengalami peningkatan sebesar 3.23%, mencapai nilai 80.24%.

2. Kegiatan *overhaul* pada boiler, seperti pergantian pipa, pembersihan dan pergantian peralatan, pemasangan *blowdown valve*, dan penggunaan *sootblower*, terbukti meningkatkan kinerja boiler. Pembersihan dan pergantian peralatan memaksimalkan proses perpindahan panas antara air umpan dan gas hasil pembakaran bahan bakar. Perpindahan panas yang optimal ini menghasilkan penggunaan bahan bakar yang lebih sedikit, namun tetap menghasilkan steam yang optimal. Hal ini berdampak positif pada kinerja boiler, dibuktikan dengan peningkatan nilai efisiensi dan rasio evaporasi.

Daftar Pustaka

- [1] Area, U. M. (2019). Pengaruh Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi Boiler Pada Unit 3 Pltu Pt . Pln (Persero) Unit Pelaksana Pembangunan Belawan Oleh : Andreas Sinaga Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Pengaruh Air Heater Terhadap Peningkatan Efisiensi. 1–78.
- [2] Triyana Agnes, S. (2019). Kinerja Boiler Hoken Kapasitas 8 Ton/Jam di PT. Bio Farman (Persero) Dengan Menggunakan Metode Direct.
- [3] Nurhasanah, R. Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Terakhir Di Unit 5 Pltu Suralaya. *Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Terakhir Di Unit 5 Pltu Suralaya*, 44–48.
- [4] Surakhman. (2013). Pengoperasian boiler di PT Kilang Pertamina Internasional Balongan Unit Utilities.
- [5] Polewangi, Y. D. (2019). Analisis Sistem Perawatan Mesin Boiler pada Industri Kelapa Sawit. *Industrial Engineering Journal*, 8(2), 24–27.
- [6] Pratama, N. M., Danial, & Taufiqurrahman, M. (2021). Analisa Efisiensi Water Tube Boiler Dengan Menggunakan Metode Langsung. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 2(2), 105–110.
- [7] Purba, Y. M. (2020). *Analisa Perbandingan Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat-Losses Pada Saat Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Di Pt. Pomi Paiton*.
- [8] Sugiharto, A. Tinjauan Teknis Pengoperasian Dan Pemeliharaan Boiler. *Forum Teknologi*, 6(2), 56–69.