

PENGARUH OVERHAUL TERHADAP EFISIENSI BOILER PADA PT PLN NUSANTARA POWER

Nilam Kartika Dewi dan Eko Naryono

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
nilamkartika774@gmail.com ; eko.naryono@polinema.ac.id

ABSTRAK

Penurunan kinerja boiler akibat intensitas operasi yang tinggi dan penggunaan jangka panjang seperti *fouling*, *scaling*, serta korosi dapat berdampak pada menurunnya efisiensi pembakaran dan perpindahan panas. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan *overhaul* secara berkala untuk memulihkan kinerja peralatan. *Overhaul* adalah pemeliharaan rutin dalam jangka waktu tertentu agar menjaga performa mesin tetap bagus. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja boiler *dengan* membandingkan efisiensi 3 sebelum dan 3 bulan setelah dari dilakukannya *overhaul*. Analisis dilakukan dengan *direct method* untuk menghitung efisiensi boiler berdasarkan data operasional aktual. Efisiensi dihitung berdasarkan perbandingan antara energi keluar dan energi masuk pada boiler. Energi masuk (Q_{in}) dihitung dari laju alir panas batubara hasil perkalian laju alir dan HHV (*High Heating Value*) batubara. Energi keluar (Q_{out}) dihitung dari penjumlahan energi yang diserap oleh fluida kerja dalam bentuk uap utama, *air spray superheater*, uap *reheater*, dan *air spray reheater*. Berdasarkan perhitungan, menunjukkan bahwa efisiensi boiler sebelum *overhaul* berkisar antara 83,71-87,21%, dengan rata-rata 85,45%, sedangkan setelah *overhaul* mengalami peningkatan dengan efisiensi berkisar antara 85,23-86,69%, dan rata-rata mencapai 86,02%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa *overhaul* dapat memperbaiki efisiensi pembakaran dan pemanfaatan energi termal dalam sistem boiler. Faktor yang memengaruhi efisiensi yakni termasuk kualitas batu bara, suhu air umpan, laju alir udara pembakar, serta kondisi teknis komponen boiler seperti kotoran dan pembentukan kerak.

Kata kunci: *direct method*, efisiensi boiler, neraca energi, *overhaul*

ABSTRACT

Performance degradation in boiler systems due to high operational intensity and prolonged usage, such as *fouling*, *scaling*, and *corrosion*, can reduce combustion efficiency and heat transfer performance. Therefore, periodic *overhaul* activities are required to restore equipment performance. *Overhaul* is routine maintenance over a period of time to keep the engine performing well. This study aims to analyze boiler performance by comparing its efficiency before and three months after the implementation of an *overhaul*. The analysis was conducted using the *direct method* to calculate boiler efficiency based on actual operational data. Efficiency was determined by comparing the output energy to the input energy of the boiler. The input energy (Q_{in}) was calculated from the thermal input rate of coal, obtained by multiplying the coal flow rate by its Higher Heating Value (HHV). The output energy (Q_{out}) was calculated as the sum of the energy absorbed by the working fluid in the form of main steam, *superheater spray water*, *reheated steam*, and *reheater spray water*. The results showed that boiler efficiency before *overhaul* ranged from 83.71% to 87.21%, with an average of 85.45%, while after *overhaul*, the efficiency increased to a range of 85.23% to 86.69%, with an average of 86.02%. This improvement indicates that *overhaul* can enhance combustion efficiency and thermal energy utilization in the boiler system. Factors affecting efficiency include coal quality, feed water temperature, burner air flow rate, as well as the technical condition of boiler components such as *fouling* and scale formation.

Keywords: *direct method*, boiler efficiency, energy balance, *overhaul*

1. PENDAHULUAN

Indonesia masih banyak menggunakan PLTU sebagai pembangkit listrik utama karena PLTU menghasilkan daya listrik kontinyu yang stabil dan besar. Pada PLTU, energi kinetik dari uap air digunakan sebagai penghasil energi listrik [1]. PT PLN Nusantara Power UP menggunakan konversi termal mengubah batu bara menjadi energi listrik melalui proses *Rankine Cycle* [2]. *Boiler* digunakan untuk mengubah air menjadi uap yang bertekanan tinggi dan bertemperatur tinggi untuk menggerakkan turbin uap.

Efisiensi dari pembangkit ditentukan oleh kinerja boiler, karena proses pembakaran di dalam furnace akan mengubah energi kimia dari batubara menjadi energi termal dalam bentuk uap [3]. Efisiensi boiler merepresentasikan jumlah energi dari bahan bakar yang berhasil dikonversi menjadi uap panas [4]. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi boiler di antaranya adalah kualitas batubara, temperatur air umpan, laju alir udara pembakar, serta kondisi teknis komponen boiler seperti *fouling* dan pembentukan kerak. Kualitas bahan bakar dan peralatan bantu dari boiler merupakan faktor yang mempengaruhi efisiensi dari boiler [5]. *Moisture* dan sulfur dapat menurunkan efisiensi *boiler* sedangkan karbon dan hidrogen dapat meningkatkan efisiensi dari boiler [6].

Pada pengoperasiannya, boiler rentan mengalami penurunan kinerja akibat akumulasi kerak (*scaling*), pembentukan endapan (*fouling*), kebocoran komponen, penurunan kualitas bahan bakar, dan buruknya pemeliharaan [7]. Untuk itu, diperlukan perawatan berkala dengan dilakukan *overhaul* untuk mengembalikan performa boiler seperti *design* awal [8]. *Overhaul* adalah pemeliharaan rutin dalam jangka waktu tertentu agar menjaga performa mesin tetap bagus. Kinerja boiler secara umum dapat dihitung dengan 2 cara, yaitu metode langsung dan tidak langsung. Perhitungan efisiensi boiler dengan metode langsung (*direct method*) membandingkan secara langsung antara total energi yang diserap fluida kerja (*output*) dan total energi yang dikandung dalam bahan bakar (*input*) [9]. Metode tidak langsung (*indirect method*) digunakan untuk menghitung besarnya persentase panas yang tidak bermanfaat sehingga dapat digunakan untuk menemukan penghematan energi dari boiler [10].

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan dengan *direct method* untuk mengetahui pengaruh *overhaul* terhadap peningkatan efisiensi *boiler*, dimana untuk menghitung rumus empiris yakni dengan menormalisasi data *ultimate analysis* dengan % massa. Penelitian ini dilakukan dengan data yang didapat dari PLTU PT PLN Nusantara Power dengan cara mengukur dan membandingkan efisiensi termal boiler dari hasil neraca energi pada tahun 2023, dimana data yang diambil adalah 3 bulan sebelum dan setelah dilakukannya *overhaul*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pendekatan kuantitatif digunakan pada penelitian ini dengan menggunakan perhitungan metode langsung (*direct method*) untuk mengetahui efisiensi sistem *boiler* di PLTU PT PLN Nusantara Power. Pengumpulan data dilakukan selama dua periode, yaitu sebelum dan sesudah pelaksanaan *overhaul*, yang masing-masing data diambil selama tiga bulan berturut-turut. Unit pembangkit listrik yang dievaluasi memiliki kapasitas beban 400 MW, yang menggunakan jenis *Subcritical Pulverized Coal Boiler*.

2.1. Pengumpulan Data

Data *ultimate analysis* Batubara yang digunakan pada PLTU PT PLN Nusantara Power disajikan pada Tabel 1, yang digunakan untuk menghitung rumus empiris batubara. Berdasarkan perhitungan rumus empiris menggunakan perhitungan normalisasi dari unsur C, didapatkan rumus empiris batu bara adalah $\text{CH}_{73}\text{O}_{18}\text{N}_{18}\text{S}_1$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. (diruntut)

Tabel 1. Data *ultimate analysis* batubara PT PLN Nusantara Power

Unsur	BM (kg/kmol)	% Berat	Laju alir massa (kg/jam)	Laju alir mol (kmol/jam)
C	12	52,11	119.472,597	9.956,0497
H ₂	1	3,18	7.290,786	7.290,786
O ₂	14	11,04	25.311,408	1.807,957
N ₂	16	0,49	1.123,423	70,214
S	32	1,03	2.361,481	73,796
Ash	-	4,65	10.661,055	-
H ₂ O	18	27,5	63.049,25	3.502,736
Total	-	100	229.270	-

Dari analisis *ultimate* batubara yang didapat, dilakukan pengolahan data untuk menghitung rumus empiris dari batubara dengan metode *normalized carbon*. Dari masing-masing kadar berat C, H, N, O, dan S dihitung %normalisasi untuk setiap unsur seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil rumus empiris batubara

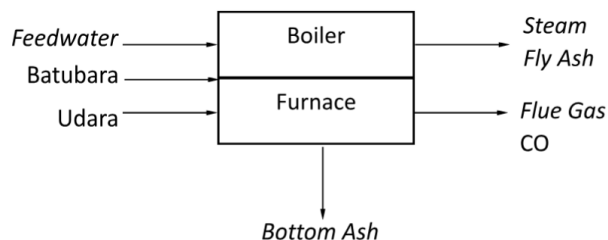
Unsur	% Berat	% normalisasi	Mol	Normalisasi (C)
C	52,11	76,80176	6,400147	1
H ₂	3,18	4,686809	4,686809	w = 0,732297
O ₂	0,49	0,722181	0,045136	x = 0,007052
N ₂	11,04	16,27118	1,162227	y = 0,181593
S	1,03	1,518054	0,047439	z = 0,007412
Total	67,85	100		

Dengan mengambil asumsi rumus kimia dari batubara adalah $\text{CH}_w\text{O}_x\text{N}_y\text{S}_z$ maka dari hasil perhitungan pada Tabel 2 didapatkan rumus empiris batubara adalah $\text{CH}_{0,73}\text{O}_{0,007}\text{N}_{0,18}\text{S}_{0,007}$. Dan untuk rumus kimia dari batubara didapatkan dari mengalikan 100 untuk unsur-unsur H, O, N, dan S sehingga didapat rumus kimia batubara pada penelitian ini adalah $\text{CH}_{73}\text{O}_{18}\text{N}_{18}\text{S}_1$

2.2. Neraca Massa

Dalam sistem pembangkitan tenaga berbasis termal, boiler memainkan peran utama dalam mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi panas untuk menghasilkan uap. Proses pembakaran yang berlangsung di dalam furnace boiler melibatkan berbagai aliran massa masuk dan keluar yang perlu dianalisis secara menyeluruh untuk memahami

efisiensi proses serta dampak lingkungan yang ditimbulkan. Oleh karena itu, penyusunan neraca massa menjadi langkah penting dalam mengevaluasi performa boiler, termasuk konsumsi bahan bakar, jumlah udara pembakaran, serta produk hasil pembakaran seperti uap, abu terbang (*fly ash*), gas buang (*flue gas*), dan abu dasar (*bottom ash*). Gambar 1 berikut menyajikan diagram alir neraca massa boiler yang menggambarkan aliran material utama pada sistem pembakaran.



Gambar 1. Diagram neraca massa boiler

Neraca massa merupakan perhitungan berdasarkan hukum kekekalan massa sehingga seluruh massa input dan output dari suatu proses akan bernilai sama [11]. Massa *output* dari sistem adalah massa dari senyawa-senyawa yang dihasilkan oleh proses dari sistem ditambahkan dengan akumulasi massa sisa yang tidak bereaksi [12]. Sehingga perhitungan neraca massa dapat dihitung dari hasil massa masuk yang sama dengan massa keluar ditambah dengan akumulasi massa sisa. Hasil perhitungan neraca massa pada furnace dan boiler ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$\begin{array}{rcccccccc}
 & \text{CH}_7\text{O}_1\text{N}_{18}\text{S}_1 & + 19,75 \text{ O}_2 & + 9\text{N}_2 & \rightarrow & 36,5 \text{ H}_2\text{O} & + \text{CO}_2 & + 18 \text{ N}_2 & + \text{SO}_2 \\
 \text{M} & 733,68 & 14490,19 & 733,68 & & - & - & - & - \\
 \text{R} & 733,68 & 14490,19 & 733,68 & & 26779,35 & 719,01 & 13206,26 & 733,68 \\
 \text{S} & - & - & - & & 26779,35 & 719,01 & 13206,26 & 733,68
 \end{array} \quad (1)$$

Setelah dilakukan perhitungan diatas, dilanjutkan dengan menghitung total kebutuhan udara dengan berdasarkan pada data kebutuhan oksigen yang tertera pada Tabel 3. Pada penelitian ini udara diasumsikan terdiri dari 21% Oksigen dan 79% Nitrogen dengan *Excess air* pada sistem pembakaran furnace sebesar 26%.

Tabel 3. Data udara pembakaran

Komposisi	Massa (kg)
O ₂ Teoritis	2.208.030,123
<i>Excess Air</i>	574.087,832
Udara masuk	2.782.117,955

Pada Tabel 4 disajikan komposisi dari *flue gas* hasil pembakaran yang menunjukkan masih terdapat O₂ karena proses pembakaran menggunakan udara berlebih. Gas buang terdiri dari nitrogen, gas hasil pembakaran CO₂ dan H₂O yang merupakan hasil oksidasi sempurna dari C dan H dalam bahan bakar dan CO hasil pembakaran tidak sempurna. Komponen gas yang lain adalah SO₂ yang berasal dari oksidasi kandungan sulfur di dalam bahan bakar, juga terdapat residu *fly ash* dan *bottom ash* sisa dari pembakaran. Dari data

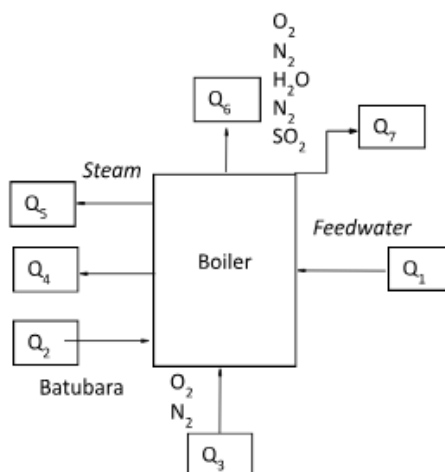
komposisi *flue gas* ini dapat dievaluasi bahwa proses pembakaran cukup efisien dengan dominasi produk gas hasil dari reaksi oksidasi sempurna.

Tabel 4. Komposisi *flue gas* hasil pembakaran

Komposisi	Massa (kg)
SO ₂	46.955,577
N ₂ Sisa	1.744.343,797
O ₂ sisa	574.087,832
CO ₂	31.636,320
CO	410,861
H ₂ O	482.028,348
Fly Ash	12.948,75
Bottom Ash	4.132,726

2.3. Neraca Energi

Neraca Energi adalah perhitungan aliran energi yang berlangsung dalam suatu sistem [13]. Berdasarkan prinsip kekekalan energi, aliran energi dapat dihitung dengan korelasi empiris energi masuk ditambah energi yang timbul sama dengan energi keluar ditambah energi yang terpakai [14].



Gambar 2. Diagram aliran energi pada *Boiler*

Keterangan:

- Q_1 = Panas air umpan/*feed water* (kj/jam)
- Q_2 = Panas pembakaran bahan bakar (kj/jam)
- Q_3 = Panas udara *supply* (kj/jam)
- Q_4 = Panas *laten steam* (kj/jam)
- Q_5 = Panas *sensibel superheated* (kj/jam)
- Q_6 = Panas *sensibel flue gas* (kj/jam)
- Q_7 = Panas yang hilang/*heat loss* (kj/jam)

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan energi input dan output yang yang diagram alir energinya ditunjukkan oleh Gambar 2, selama 3 bulan sebelum *overhaul* dan 3 bulan setelah *overhaul*. Secara umum, aliran energi pada boiler dapat digambarkan

seperti pada Gambar 2, di mana energi *input* yakni terdiri dari panas *feed water*, pembakaran bahan bakar, dan juga udara suplai, sementara energi *output* meliputi panas *steam*, panas *flue gas*, serta *heat loss*. Diagram ini biasa digunakan dalam pendekatan *indirect method* untuk menghitung efisiensi boiler, yaitu dengan menjumlahkan seluruh *heat loss* dan membandingkannya terhadap energi *input* untuk mengetahui efisiensi sistem secara tidak langsung. Namun, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *direct method*, yaitu pendekatan langsung dengan membandingkan energi yang diserap oleh uap terhadap energi yang diberikan oleh bahan bakar. Kelebihan dari metode ini adalah perhitungan lebih sederhana serta tidak memerlukan data yang terlalu rinci mengenai berbagai bentuk kehilangan panas, sehingga lebih praktis untuk kondisi lapangan yang memiliki keterbatasan alat ukur. Hasil perhitungan energi *input* dan energi *output* untuk mendapatkan nilai efisiensi boiler masing masing disajikan pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Energi *input* (Q_{in}) sebelum *overhaul*

Input	Satuan	Bulan		
		ke-1	ke-2	ke-3
Massa Batubara	kg/jam	238.900	234.080	233.740
HHV	kCal/kg	4.007,38	4.086,67	4.169,57
Q_{input} batubara	kCal	957.363.082	956.607.713,6	974.595.291,8
	KJ	4.005.607.135	4.002.446.674	4.077.706.701

Perhitungan Q_{in} dan Q_{out} dari batubara menggunakan rumus:

$$Q_{input} = \text{Massa Batubara} \times \text{HHV} \quad (2)$$

$$Q_{output} = Q_{ms} + Q_{psw} + Q_{rs} + Q_{rsw} \quad (3)$$

Keterangan:

Q_{ms} = Energi *supply* ke *main steam*

Q_{psw} = Energi *supply* ke *SH spray water*

Q_{rs} = Energi *supply* ke *reheat steam*

Q_{rsw} = Energi *supply* ke *reheat spray water*

Tabel 6. Energi *output* (Q_{out}) sebelum *overhaul*

Energi Output	Bulan		
	ke-1	ke-2	ke-3
Q_{ms} (kJ)	2.824.308.622	2.871.693.142	2.806.199.353
Q_{psw} (kJ)	43.014.141,65	43.704.882,4	50.215.352,01
Q_{rs} (kJ)	534.518.827,1	500.300.142,5	536.540.951,7
Q_{rsw} (kJ)	19.940.774,48	15.348.894,97	20.369.633,65
Q_{out} (kJ)	3.421.782.366	3.431.047.062	3.413.325.290

2.4. Efisiensi Boiler

Perhitungan efisiensi *boiler* yang dilakukan menggunakan *direct Method* (metode langsung) yang juga disebut metode *input-output* [15]. Perhitungan dilakukan dengan

membandingkan energi panas *main steam* sebagai energi *output*, dengan energi panas dari proses pembakaran bahan bakar di dalam *boiler* sebagai energi *input* [16]. Perhitungan efisiensi menggunakan rumus:

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Tabel 7. Efisiensi *boiler* sebelum OH (*overhaul*)

Sebelum OH	Bulan		
	ke-1	ke-2	ke-3
Q _{in} (kJ)	4.005.607.135	4.025.838,357	4.077.706.701
Q _{out} (kJ)	3.421.782.366	3.431.047,062	3.413.325.290
Efisiensi <i>Boiler</i> (%)	85,42	85,225	83,71

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sesuai hukum kekekalan massa, massa sebelum terjadinya reaksi akan bernilai sama dengan massa setelah terjadinya reaksi. Pada penelitian ini, massa input adalah nilai akumulasi dari massa batubara sesuai analisa ultimate pada Tabel 1 ditambah dengan massa input dari udara pada Tabel 3. Kemudian massa input tersebut akan dibandingkan dengan massa output yang terdiri dari massa produk hasil perhitungan stoikiometri, massa oksigen dan udara sisa massa sisa pembakaran *fly ash* dan *bottom ash*.

3.1. Neraca Massa

Perhitungan neraca massa *balance* apabila total massa input dan massa output sama. Hasil perhitungan yang dilakukan sesuai hukum kekekalan massa yang hasilnya ditunjukkan pada Tabel 8. Pada perhitungan neraca massa komposisi udara diasumsikan terdiri dari 21% Oksigen dan 79% Nitrogen, nilai *excess air* 26%. *Excess air* dapat meningkatkan kualitas performa *boiler* sehingga pembakaran berlangsung sempurna [17]. *Excess air* memengaruhi *net heat rate*, efisiensi konsumsi bahan, dan kinerja kondensor sehingga *excess air* dapat meningkatkan efisiensi *boiler* [18].

Tabel 8. Neraca massa total

Komponen	Massa Input	Satuan	Massa Output	Satuan
Udara	2.677.935,268	kg/jam	0	kg/jam
C	119.472,597	kg/jam	0	kg/jam
H ₂	7.290,786	kg/jam	0	kg/jam
N ₂	25.311,408	kg/jam	1.744.343,797	kg/jam
H ₂ O	63.049,25	kg/jam	482.028,348	kg/jam
S	2.361,481	kg/jam	0	kg/jam
O ₂	1.123,423	kg/jam	574.087,832	kg/jam
CO ₂	0	kg/jam	31.636,32	kg/jam
CO	0	kg/jam	410,861	kg/jam
SO ₂	0	kg/jam	46.955,577	kg/jam
Abu	10.661,055	kg/jam	10.661,055	kg/jam
<i>Bottom ash</i>	0	kg/jam	4.132,726	kg/jam
<i>Fly ash</i>	0	kg/jam	12.948,75	kg/jam
TOTAL	2.907.205,268	kg/jam	2.907.205,268	kg/jam

3.2. Neraca Energi

Perhitungan neraca energi diperlukan untuk menghitung efisiensi *boiler* menggunakan persamaan (3). Perhitungan energi *input* setelah dilakukan *overhaul* dengan menggunakan persamaan (1) disajikan pada Tabel 9. Perhitungan energi *output boiler* menggunakan Persamaan (2) disajikan pada Tabel 10, yang selanjutnya dihitung efisiensi *boiler* menggunakan persamaan (3).

Tabel 9. Energi input (Q_{in}) setelah *overhaul*

Input	Satuan	Tanggal		
		ke-1	ke-2	ke-3
Massa Batubara	kg/jam	238.900	234.080	233.740
HHV	kCal/kg	4.007,38	4.086,67	4.169,57
Q batubara	kCal	957.363.082	956.607.713,6	974.595.291,8
	kJ	4.005.607.135	4.002.446.674	4.077.706.701

Tabel 10. Efisiensi *boiler* setelah *overhaul*

Neraca Energi	Bulan		
	ke-1	ke-2	ke-3
Q_{in} (kJ)	4.010.856,004	4.002.446.674	3.988.448,543
Q_{ms} (kJ)	2.935.885.715	2.896.805.701	2.843.855.401
Q_{psw} (kJ)	35.884.245,13	34.188.450,59	50.853.927,47
Q_{rs} (kJ)	492.384.019,9	540.064.026,7	526.563.537,9
Q_{rsw} (kJ)	12.830.259,43	19.349.301,16	14.801.182,1
Q_{out} (kJ)	3.476.984,239	3.490.407.480	3.436.074,048
Efisiensi Boiler (%)	86,689	87,21	86,15

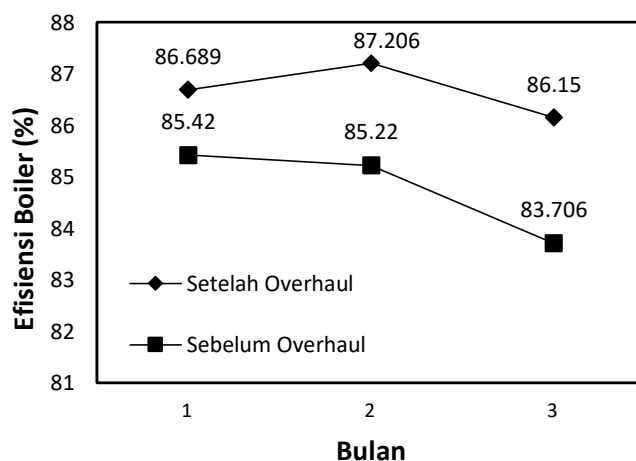
Efisiensi boiler selama 3 bulan sebelum dilakukan *overhaul* yang didapat dari perhitungan adalah 85,42%, 85,22%, dan 83,71%. Efisiensi *boiler* selama 3 bulan setelah dilakukan *overhaul* adalah 86,689%, 87,21%, dan 86,15%. Dari data tersebut terdapat kenaikan efisiensi sebesar 1,269%; 1,99%; dan 2,44% setelah dilakukannya *overhaul*. Terlihat dari nilai Q_{ms} yang meningkat pada tanggal 14 Juni dari 2.824.308.622 menjadi 2.935.885.715, pada tanggal 25 Juli meningkat dari semula 2.871.693.142 menjadi 2.896.805.701, dan pada tanggal 23 Agustus terdapat peningkatan dari 2.806.199.353 menjadi 2.843.855.401. Dengan meningkatnya nilai Q_{ms} maka nilai Q_{out} pun akan meningkat, sehingga meningkatkan nilai efisiensi dari boiler.

Overhaul merupakan waktu dimana dilakukannya *maintenance* secara menyeluruh yang mencakup pemeriksaan ataupun bahkan penggantian komponen yang mengalami penurunan kinerja atau kerusakan. Proses ini dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi boiler karena sistem pembakaran dapat menjadi lebih optimal sehingga perpindahan panas yang terjadi pada sistem menjadi lebih maksimal. Misalnya pada permukaan perpindahan panas seperti pipa-pipa, biasanya terdapat penumpukan kerak.

Kerak dapat mengakibatkan pemborosan energi dan penurunan efisiensi termal. Kemudian dengan adanya *overhaul*, dilakukan penghilangan untuk kerak yang menumpuk ini agar komponen dapat bekerja dalam kondisi yang lebih optimal [19]. Kondisi ini akan menaikkan transfer panas dari dalam dan luar pipa boiler.

Selain itu, *overhaul* juga mencakup pengalibrasian ulang sistem kontrol dan pembakar (*burner*), dimana komponen ini memiliki peran penting dalam memastikan rasio udara bahan bakar berada dalam kondisi ideal untuk menghasilkan pembakaran sempurna. Dengan pembakaran sempurna, kebutuhan konsumsi bahan bakar dapat ditekan serta dapat mengurangi emisi dari gas buang.

Pada boiler, terdapat komponen yang diidentifikasi sebagai sumber utama dari *exergy destruction* yakni seperti ruang bakar dan permukaan perpindahan panas, yang menyumbang lebih dari 50% kerugian termodinamika total dalam sistem pembangkit. Untuk mengatasi hal ini, peningkatan efisiensi dapat dilakukan dengan mengurangi perbedaan suhu antara fluida kerja dengan gas buang serta pengaturan untuk tekanan dan suhu *main steam* [20]. Nilai efisiensi boiler yang tinggi menandakan bahwa energi panas yang dihasilkan dapat digunakan dengan optimal dalam pembentukan uap, dengan mengalami kerugian energi yang minimal. Oleh karena itu, dilakukannya *overhaul* secara rutin menjadi strategi efektif dalam memulihkan kondisi boiler untuk meningkatkan performanya dan mencapai kondisi yang optimal karena sistem dalam boiler dipastikan dalam kondisi ideal pembakaran [21]. Pada gambar 3 dibawah ini, terlihat nilai efisiensi boiler sesudah *overhaul* mengalami kenaikan.



Gambar 3. Grafik perbandingan efisiensi *boiler* pada sebelum dan setelah *overhaul*

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Overhaul memengaruhi peningkatan efisiensi boiler, berdasarkan metode langsung didapatkan hasil peningkatan efisiensi dari yang awalnya 85,42% menjadi 86,68%. Terjadi kenaikan nilai Q_{out} yang semula 3.421.782.366 meningkat menjadi 3.476.984,239 pada nilai Q_{in} yang tetap yaitu 4.005.607.135

Pada penelitian ini menggunakan metode langsung (*direct method*), sehingga hanya dapat dihitung perubahan nilai efisiensi tanpa mengetahui penyebab dari perubahan efisiensinya. Untuk itu pada penelitian selanjutnya disarankan dilakukan evaluasi efisiensi

menggunakan metode tidak langsung sehingga dapat diidentifikasi secara lebih spesifik untuk nilai energi-energi yang hilang.

REFERENSI

- [1] H. Abbas, J. Jamaluddin, dan A. Amiruddin, "Analisa Pembangkit Tenaga Listrik dengan Tenaga Uap di PLTU," *ILTEK: Jurnal Teknologi*, vol. 15, no. 02, hal. 103–106, Oct. 2020
- [2] Y. C. Dwiaji dan M. Utama, "Analisis Efisiensi Boiler Terhadap Pola Pengoperasian Sootblower di PLTU Suralaya," *Jurnal Simetrik*, vol. 10, no. 1, Jun. 2020.
- [3] J. Syalsabila, Hendradinata, F. Putri, Safe, Siproni, dan H. Indra, "Analisa Efisiensi Thermal Boiler Tipe Circulation Fluidized Bed Di PLTU 3x10mw," *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 4, no. 3, 2023
- [4] N. T. Sahda, J. M. Sentosa, dan L. Adhani, "Analisis Efisiensi Boiler menggunakan Metode Langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) Bantargebang," *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, vol.1, no.1, hal. 39 – 48, 2022.
- [5] A. Mohamad dan R. Subagyo, "Analisis Kinerja Boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap Asam Asam Unit Ii-Kalimantan Selatan," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 2, no.1, hal. 109-122, 2020.
- [6] A. Daud, R. Hartono, dan A. Seng, "Analisis Efisiensi Bahan Bakar Batubara Tipe Low Rank Coal Pada Boiler Stoker PLTU Tidore Unit 2," *Jurnal Teknik Mesin Unkhair*, vol. 5, no. 2, 2020.
- [7] R. Nurhasanah dan O. Firdaus, "Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi Dan Setelah Overhaul Terakhir di Unit 5 PLTU Suralaya," *Jurnal power Plant*, vol. 4, no. 1, 2016, hal. 44-48, 2016.
- [8] Hendri, Suhengki, dan P. Ramadhan, "Analisa Efisiensi Boiler Dengan Metode Heat Loss Sebelum Dan Sesudah Overhaul PT. Indonesia Power UBP PLTU Lontar Unit 3," *Jurnal Power Plant*, vol. 4, no. 4, hal. 5, 2017.
- [9] S. P. Wicaksana, A. Rahmatulloh, dan R. Subandi, "Analisis Efisiensi Boiler Fire-Tube Pada Produksi Stpp Di Pt Petrocentral Gresik Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 3, hal. 258–265, 2023.
- [10] D. Darmawan dan S. Winarto, "Artikel Perbandingan Efisiensi pada Boiler II TWA PPSDM Migas Menggunakan Metode Langsung dan Tidak Langsung Periode Bulan Maret 2023" *Jurnal Nasional Pengelolaan Energi Migas*, vol. 6, no. 2, 2024.
- [11] A. I. Dewantoro and S. H. Putri, "Evaluasi Kehilangan Bahan selama Proses Produksi Gondorukem Berdasarkan Analisis Neraca Massa," *Metana*, vol. 18, no. 1, hal. 29–38, Jun. 2022.
- [12] I. S. Wuryanti, "Neraca Massa dan Neraca Energi," *Buku Neraca Massa dan Energi*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, 2016.
- [13] A. Primaningtyas dan R. Widyorini, "Evaluasi proses produksi industri gondorukem dari tinjauan aliran massa dan energi (Studi kasus PGT Sapuran)," *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, vol. 12, no. 1, hal. 39, 2020.
- [14] J. Jovitha, C. Y. Prawira, dan S. Ekawati, "Perhitungan Teoritis Kebutuhan Oksigen, Udara Berlebih pada Reaksi Pembakaran Batu Bara dan Neraca Massa Total pada

- Furnace di PT PJB UBJ O&M PLTU Paiton 9,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 316–320, 2020.
- [15] A. N. Sidiq, “Pengaruh Co-Firing Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara,” *KILAT*, vol. 11, no. 1, hal. 21–31, 2022.
- [16] A. Sugiharto, “Perhitungan Efisiensi Boiler dengan Metode Secara Langsung pada Boiler Pipa Api,” *Jurnal ESDM Cepu*, 2020.
- [17] M. Alfarisyi, A. Dharmawan, dan D. Y. Miswar, “Optimasi Kebutuhan Udara Pembakaran Batubara Untuk Meningkatkan Kinerja Boiler Pltu Tanjung Awar Awar,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral*, vol. 2, no. 1, hal. 702–708, 2022.
- [18] M. E. Simanjuntak, “Pengaruh Excess Air Terhadap Kinerja PLTU Berkapasitas 12,5 Mw Dengan Beban Bervariasi: Sebuah Simulasi Termodinamika Menggunakan Software Cycletempo Versi 5.0,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 3, hal. 287–298, 2019.
- [19] V. K. Dwivedi, S. K. Gupta, H. Verma, N. Yadav, dan H. Yadav, “Improvement in Energy Efficiency & Heat Loss Minimization during Boiler Operation: A Case Study,” *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 1116, no. 1, hal. 2, 2021.
- [20] M. Elwardany, “Enhancing steam boiler efficiency through comprehensive energy and exergy analysis” A review, *Process Safety and Environmental Protection*, vol. 184, hal. 1222-1250, 2024.
- [21] R. Pachaiyappan dan J. Dasa Prakash, “Improving the Boiler Efficiency by Optimizing the Combustion Air,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 787, hal. 238–242, 2015.