

OPTIMASI EFISIENSI BOILER KILANG PPSDM MIGAS CEPU

Siti Nadya Oktavia¹, Muhammad Alvin Faiz Asshidqi¹, Bayu Izagy Rifat¹, Tun Sriana^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Cepu 58315, Indonesia

ABSTRAK

Steam merupakan fluida penting yang berperan dalam berbagai proses di kilang PPSDM Migas Cepu, termasuk pemanasan residu, air umpan pada *de-aerator*, injeksi di kolom *stripper*, dan penggerak pompa torak. *Superheated steam* diproduksi oleh *boiler* yang menggunakan bahan bakar R30 untuk memanaskan air umpan. Namun, performa *boiler* cenderung menurun seiring waktu, sehingga perlu dilakukan evaluasi dan optimasi untuk memastikan efisiensinya tetap optimal. Efisiensi *boiler* dihitung menggunakan dua metode, yakni metode langsung dan tidak langsung. Pada metode langsung, perbandingan antara kalor yang dihasilkan oleh *steam* dan kalor yang disuplai melalui pembakaran bahan bakar menjadi tolok ukur. Sementara metode tidak langsung mencakup perhitungan lebih rinci, termasuk *heat loss* dari *blowdown*, *atomizing steam*, radiasi, gas buang kering, dan faktor penyebab kehilangan energi lainnya. Penelitian ini menunjukkan efisiensi *boiler* sebelum optimasi sebesar 80,67% (metode langsung) dan 80,37% (metode tidak langsung). Setelah dilakukan optimasi, efisiensi meningkat menjadi 83,50% (metode langsung) dan 82,96% (metode tidak langsung). Peningkatan kinerja *boiler* sebesar 4,13% dan 3,73% menggunakan masing-masing metode menunjukkan bahwa optimasi berhasil meningkatkan efisiensi dengan cara mengurangi penggunaan bahan bakar.

Kata kunci: *Boiler*, Efisiensi, Metode Langsung, Metode Tidak Langsung, Optimasi

 tun.sriana@gmail.com

1. Pendahuluan

Boiler adalah bejana bertekanan yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap panas [1]. Pembakaran terus-menerus ruang bakar menghasilkan energi panas dari energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar dimana uap yang dihasilkan adalah uap yang sangat panas dengan kondisi tekanan dan suhu tinggi [2]. *Boiler* adalah kumpulan berbagai komponen yang saling berhubungan, jadi kegagalan salah satunya dapat berdampak pada kinerja sistem secara keseluruhan atau kinerja *boiler* secara keseluruhan [3].

Mengoptimalkan *boiler* akan meningkatkan efisiensi energi, yang berdampak langsung pa-

da pengurangan biaya pengoperasian, dimana dengan meningkatkan efisiensi pembakaran dan meminimalkan kehilangan panas, industri dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan biaya terkait [4]. Misalnya, perangkat tambahan seperti *economizer* dapat meningkatkan efisiensi termal sistem secara signifikan, mengurangi konsumsi energi dan emisi. Selain itu, penghematan biaya yang signifikan dapat dicapai melalui optimalisasi bahan bakar dan penggunaan teknologi canggih dalam pengoperasian *boiler* [5]. Misalnya, dengan mengoptimalkan komposisi bahan bakar dan pengendalian pasokan, perusahaan dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi kebutuhan bahan bakar [6].

Mengoptimalkan efisiensi *boiler* dapat meningkatkan kinerjanya. Efisiensi adalah teknik untuk meminimalkan atau menghilangkan penggunaan bahan dan tenaga kerja yang berlebihan, yang dapat menyebabkan kerugian, dan memaksimalkan sumber daya dengan cara yang cepat dan tepat [7]. Perhitungan efisiensi *boiler* dipengaruhi oleh banyak faktor. Semua aspek efisiensi *boiler*, termasuk efisiensi *boiler*, efisiensi bahan bakar, efisiensi pembakaran, efisiensi termal, dan efisiensi biaya yang dikeluarkan, berkorelasi satu sama lain [3].

Boiler TWA 6000 Kg/H di kilang PPSPDM Migas seperti tampak pada Gambar 1, telah beroperasi sejak tahun 2017 [8]. Seiring waktu, efisiensi *boiler* dapat menurun, yang dapat menyebabkan industri mengeluarkan biaya operasional yang lebih tinggi, sehingga dilakukan penelitian tentang efisiensi dan optimasi unjuk kerja *boiler*.



Gambar 1. *Boiler* dengan TWA 6000 Kg/H

Sebelum melakukan optimasi *boiler*, perlu dilakukan analisis efisiensi *boiler*. Ini dapat dicapai dengan mengidentifikasi faktor pendukung dan penghambat efisiensi, serta metode yang digunakan untuk alat tersebut [1]. Ada dua cara untuk menguji efisiensi *boiler* yaitu metode langsung dan tidak langsung. Metode langsung menghasilkan lebih banyak efisiensi dari energi fluida kerja (air dan uap)

daripada kandungan energi bahan bakar *boiler*. Sedangkan pada metode tidak langsung, nilai efisiensi adalah perbedaan antara masukan energi dan rugi daya [9].

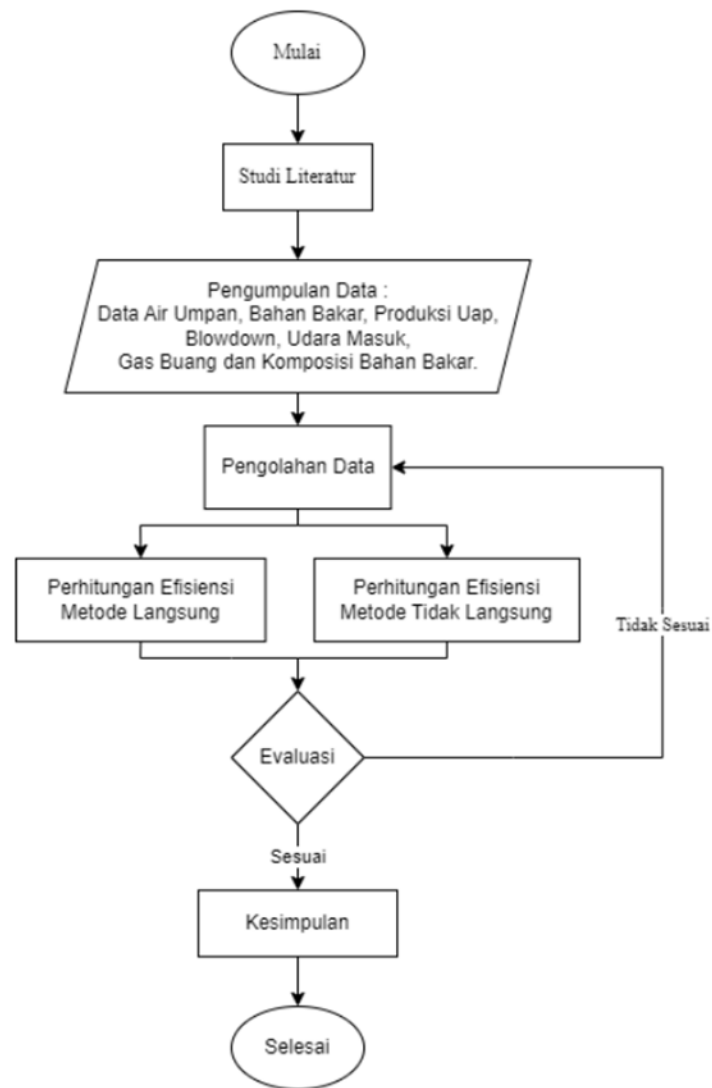
Penelitian mengenai efisiensi *boiler* Hamada untuk menentukan kinerjanya dilakukan pada tahun 2020 dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi metode langsung sebesar 66.66% dan nilai efisiensi metode tidak langsung sebesar 53.84% [10]. Nilai yang berbeda ini disebabkan oleh fakta bahwa metode langsung hanya melihat perbandingan antara masukan panas dan keluaran panas, sedangkan metode tidak langsung melihat berbagai jenis kerugian. Penelitian tersebut menawarkan landasan penting untuk perbandingan dan validasi penelitian ini. Dalam penelitian kali ini, melalui analisis yang lebih mendalam, dilakukan evaluasi terhadap kinerja *boiler* pipa api TWA 6000 Kg/H di kilang PPSPDM Migas Cepu, untuk meningkatkan kinerja *boiler* secara berkelanjutan dan optimal untuk memenuhi kebutuhan *steam* kilang.

2. Bahan dan Metode

Tahapan penelitian ditampilkan pada Gambar 2. Penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur terkait *boiler* yang akan dioptimasi lalu dilanjutkan dengan pengumpulan berbagai data yang dibutuhkan untuk menentukan efisiensi. Kemudian data tersebut diolah untuk menentukan nilai efisiensi dengan metode langsung dan tidak langsung. Setelah itu dilakukan evaluasi apakah data tersebut sesuai dengan pada kondisi lapangan. Apabila data sesuai maka dapat dilakukan penentuan kesimpulan hasil penelitian namun apabila hasil efisiensi tidak sesuai maka harus dilakukan pengolahan data ulang.

2.1 Bahan

Data yang berhasil dikumpulkan oleh peneliti adalah berupa data umpan *boiler*, data bahan bakar *boiler*, data produksi uap dan data komposisi bahan bakar seperti yang ditampilkan secara berurutan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4.



Gambar 2. Tahapan penelitian

Tabel 1. Data Air Umpan *Boiler*

Nama	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	T_w	62	$^{\circ}\text{C}$
Tekanan	P_w	1	kg/cm^2
Entalpi	h_w	60.033	kcal/kg
Volume Spesifik	v_w	0.001017	m^3/kg
Jam Operasi		24	jam
Total Pamakaian Air		3.8	m^3/jam
Total Berat Pamakaian Air	W_w	3736.48	kg/jam

Tabel 2. Data Bahan Bakar *Boiler*

Nama	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_f	73	°C
Tekanan	P_f	14.2	kg/cm ²
<i>Specific Gravity</i>	SG(60/60)	0.9182	
Kandungan Air dalam Bahan Bakar	W	0.3	%
Rasio Kelembaban Bahan Bakar	M_f	0.003	kg
Panas Jenis Bahan Bakar	C_{pf}	0.48	kcal/kg°C
Kebutuhan Bahan Bakar		5300	L/hari
Total Pemakaian Bahan Bakar		220.8333	L/Jam
Total Berat Pemakaian Bahan Bakar	W_f	202.7692	kg/jam

Tabel 3. Data Produksi Uap

Nama	Simbol	Jumlah	Satuan
Suhu	t_s	140	°C
Tekanan	P_s	4	kg/cm ²
Entalpi	h_s	653.322	kcal/kg
Jumlah Produksi Uap	W_s	3200	kg/jam

Tabel 4. Data Komposisi Bahan Bakar

Nama	Simbol	Jumlah	Banyak
Karbon	C	86.20	0.8620
Hidrogen	H ₂	12.39	0.1239
Sulfur	S	0.39	0.0039
Oksigen	O ₂	0.37	0.0037
Nitrogen	N ₂	0.12	0.0012
Air	H ₂ O	0.43	0.0043
Abu	Ash	0.1	0.0010
TOTAL		100	1

2.2 Metode

Berdasarkan data pada Tabel 1 – 4, dilakukan perhitungan efisiensi *boiler* dengan metode langsung dan tidak langsung. Hal ini dilaksanakan untuk membandingkan efisiensi aktual yang didapat sesuai dengan data desain alat dengan keadaan aktualnya. Skema metode langsung dan tidak langsung seperti yang ditampilkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Rumus perhitungan yang digunakan pada skema metode langsung adalah [6]:

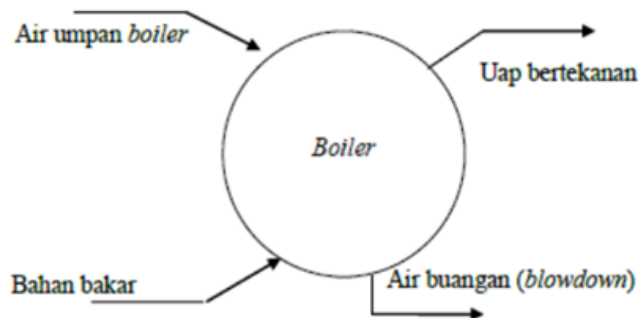
$$\eta = \frac{W_s \times (h_s - h_w)}{W_f \times HHV} \times 100\% \quad (1)$$

Sedangkan rumus perhitungan yang pada skema metode tidak langsung adalah [6] :

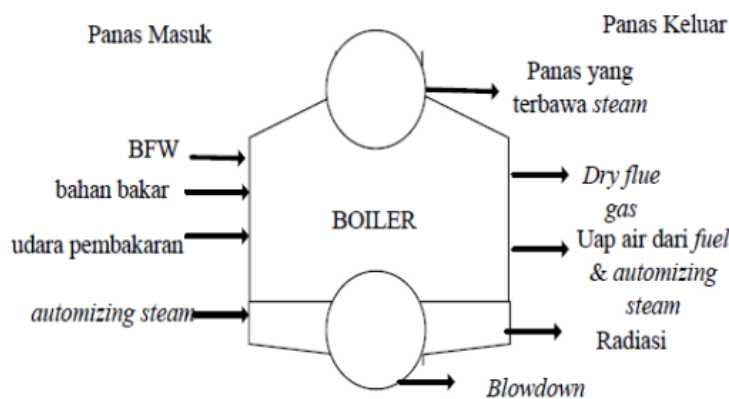
$$\eta = \left(1 - \frac{\text{total kehilangan panas}}{\text{total panas yang digunakan}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Total panas yang digunakan} = Q_p + Q_f + Q_w + Q_{Al} + Q_{ma} + Q_f \quad (3)$$

$$\text{Total kehilangan panas} = Q'_{fg} + Q'_{ma} + Q'_w + Q'_H + Q'_{BD} + Q'_{WALL} \quad (4)$$



Gambar 3. Skema metode langsung



Gambar 4. Skema Metode Tidak Langsung

3. Hasil Penelitian

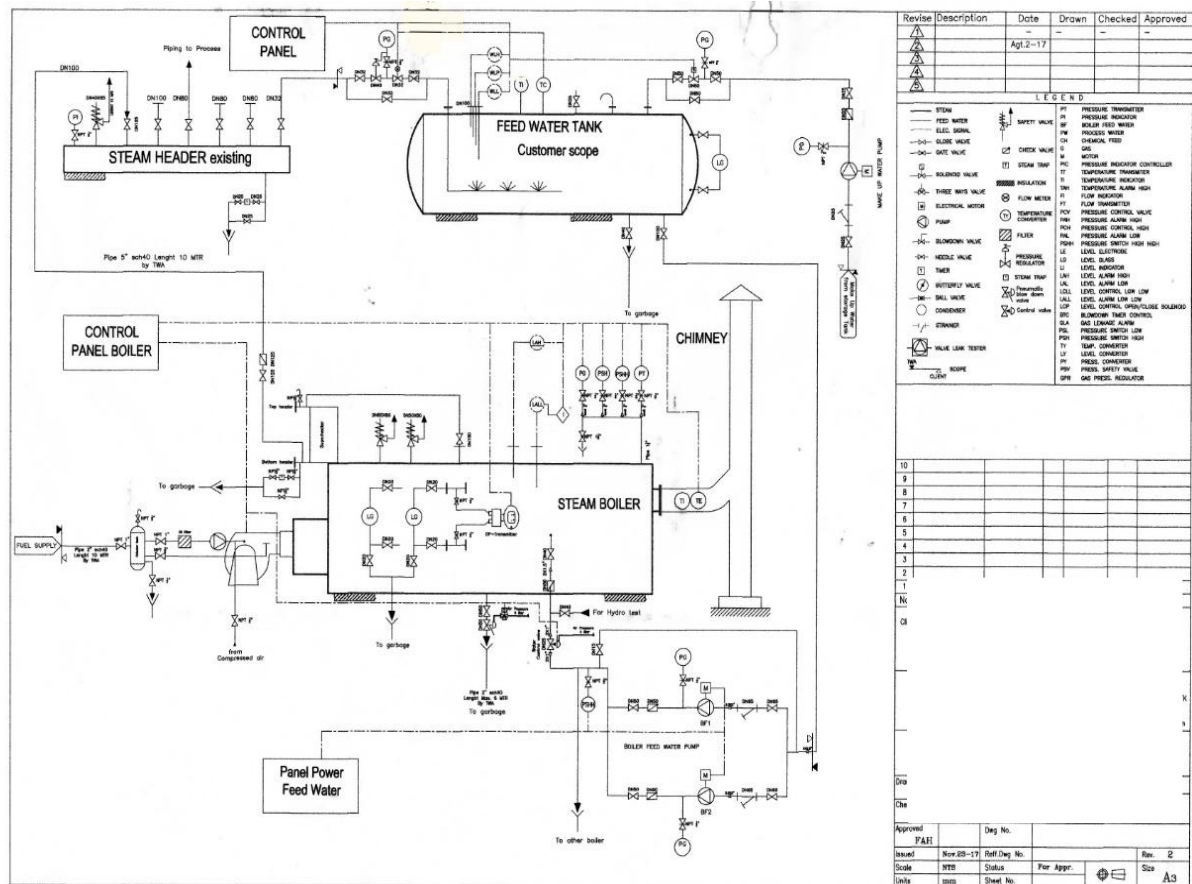
Boiler plant adalah bagian penting dari unit utilitas yang mendukung kelancaran proses produksi. *Boiler* ini berfungsi untuk menghasilkan uap (*steam*) dengan cara memanaskan air di dalam bejana menggunakan bahan bakar seperti solar, residu, atau campuran keduanya yang dikenal sebagai R30. R30 merupakan campuran yang terdiri dari 30% solar dan 70% residu. *Boiler* TWA memiliki kapasitas 6000 ton/h dan beroperasi secara *batch*, artinya alat ini tidak beroperasi setiap hari secara terus-menerus. *Boiler* akan diaktifkan hanya saat kilang memerlukan uap panas untuk mengolah produk minyak bumi. Peneliti melakukan optimasi efisiensi energi dengan menerapkan pengendalian bahan bakar. Optimasi efisiensi *boiler* merupakan proses yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi *boiler* dalam menghasilkan uap atau *steam* dengan menggunakan bahan

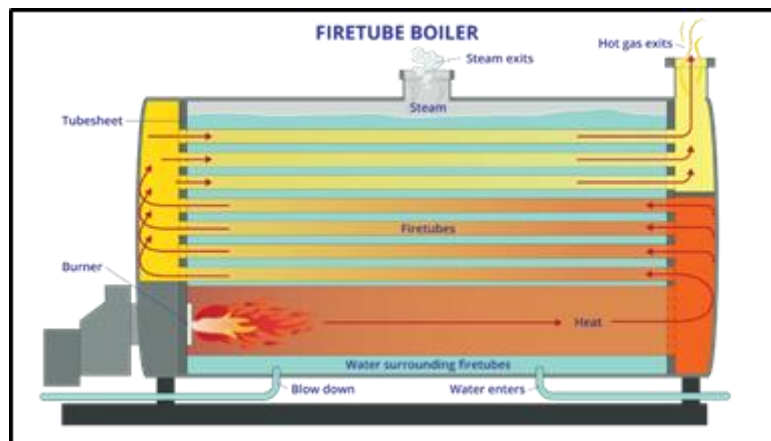
bakar yang lebih efektif. Hal ini melibatkan keseimbangan antara suplai air, udara, dan bahan bakar untuk mengurangi kehilangan panas dan meningkatkan efisiensi pembakaran. Pengendalian ini dilakukan untuk memastikan penggunaan bahan bakar yang lebih efisien, sehingga mengurangi biaya operasional, emisi, dan memulihkan efisiensi kinerja *boiler* ke kondisi optimal seperti saat pertama kali beroperasi. Dengan mengontrol bahan bakar, *boiler* dapat beroperasi pada tingkat yang optimal, menghindari pemborosan energi, serta memastikan pasokan uap yang stabil. Akibatnya, efisiensi keseluruhan sistem meningkat, konsumsi bahan bakar menurun, dan dampak lingkungan dari operasi *boiler* menjadi lebih minimal.

Boiler yang digunakan merupakan jenis *fire tube*, di mana panas hasil pembakaran berada di dalam *tube*, sedangkan air yang akan diuapkan berada di luar *tube* atau di dalam *shell*. *Boiler* ini diposisikan *horizontal* dengan susu-

nan *tube* atau pipa yang memanjang sepanjang *drum*. Terdapat tiga *pass* di dalam *boiler* ini, seperti tampak pada Gambar 5. *Pass* pertama (bagian tengah) adalah lorong api tempat terjadinya proses pembakaran bahan bakar oleh *burner*. Panas dari pembakaran kemudian dialirkan ke *pass* kedua (bagian tengah), di mana terjadi kontak langsung dengan air umpan *boiler* yang baru saja masuk ke dalam *boiler*. Panas dari asap pembakaran kemudian diarahkan ke *pass* ketiga (bagian atas) sebelum akhirnya menuju ke *stack*. Detail

gambaran *fire tube boiler* ditunjukkan pada Gambar 6. Tabel 5 dan Gambar 7 menunjukkan hasil perbandingan nilai efisiensi sebelum dan setelah dioptimasi dengan metode tidak langsung. Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa dengan mengurangi konsumsi bahan bakar dapat membawa efek positif seperti mengurangi emisi gas rumah kaca, menurunkan biaya operasional, serta memperpanjang umur *boiler* dengan mengurangi beban kerja pada sistem pembakaran.

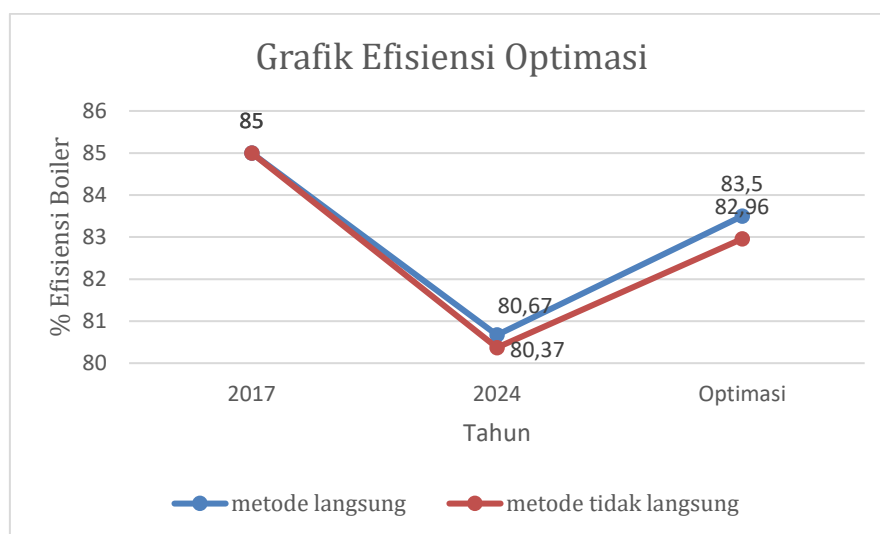




Gambar 6. Fire Tube Boiler

Tabel 5. Perbandingan Efisiensi Sebelum dan Sesudah di Optimasi Menggunakan Metode Tidak Langsung

	Panas masuk		Panas keluar		Efisiensi
	Variabel	Kcal/jam	Variabel	Kcal/jam	%
Efisiensi Sekarang	Qp	2.353.496,48	Q's	2.090.630,40	80,37
	Qf	5.148,06	Q'fg	83.893,07	
	Qw	2.206,31	Q'ma	20.176,12	
	QAI	15.826,39	Q'w	42.976,12	
	Qma	205,74	Q'H	159.741,37	
	Qfw	224.312,09	Q'BD	51.043,80	
			Q'WALL	152.734,43	
	Total	2.601.195,08	Total	2.601.195,08	
Efisiensi Setelah di Optimasi	Qp	2.273.702,39	Q's	2.090.630,40	82,96
	Qf	4.973,52	Q'fg	78.313,74	
	Qw	2.131,51	Q'ma	18.831,19	
	QAI	14.771,41	Q'w	41.518,81	
	Qma	192,03	Q'H	154.325,42	
	Qfw	224.312,09	Q'BD	51.043,80	
			Q'WALL	85.419,59	
	Total	2.520.082,95	Total	2.520.082,95	



Gambar 7. Efisiensi Hasil Optimasi

4. Pembahasan

Berdasarkan Tabel 5, total panas yang masuk dan keluar dari *boiler* TWA ini adalah 2.601.195,08 Kcal/jam. Setelah dilakukan optimasi, total panas yang masuk dan keluar dari *boiler* menjadi 2.520.082,95 Kcal/jam. Optimasi ini dicapai dengan mengubah satu variabel utama, yaitu penggunaan bahan bakar, yang diturunkan dari 5486 L/hari menjadi 5300 L/hari. Penurunan konsumsi bahan bakar ini menghasilkan perubahan signifikan pada Panas Hasil Pembakaran (Q_p), dengan penurunan panas sebesar 23.079.794 Kcal/jam. Selain itu, optimasi ini juga berdampak pada Panas yang hilang melalui dinding (Q_{wall}), yang mengalami penurunan sebesar 67.314,84 Kcal/jam. Pengurangan penggunaan bahan bakar ini tidak hanya meningkatkan efisiensi *boiler* menjadi 82%, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan emisi gas buang, menunjukkan bahwa optimasi ini memberikan manfaat ganda dalam hal efisiensi e-

nergi dan dampak lingkungan. Meskipun peningkatan efisiensi ini signifikan, perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk memastikan apakah 82% merupakan nilai efisiensi yang paling optimal, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti batasan teknologi, analisis biaya-manfaat, keselamatan, dan dampak lingkungan jangka panjang. Pengurangan konsumsi bahan bakar dari 5486 L/hari menjadi 5300 L/hari dengan rasio 40:60 memang merupakan hasil optimasi yang efektif. Ini tidak hanya meningkatkan efisiensi *boiler*, tetapi juga mengurangi emisi gas buang. Selain itu, peningkatan efektivitas rasio udara dan bahan bakar, yang didukung oleh pemeliharaan dan inspeksi rutin, memastikan bahwa semua komponen *boiler* berfungsi dengan baik dan tidak ada kebocoran. Ini merupakan faktor penting dalam mempertahankan efisiensi tinggi yang telah dicapai.

Tabel 6. Perbandingan Rasio Terhadap Efisiensi *Boiler*

Rasio Solar:Residu	Efisiensi <i>Boiler</i>	Konsumsi Bahan Bakar (L/hari)	Emisi Gas Buang	Keterangan
60:40	78%	5486	Tinggi	Rasio awal sebelum optimasi
50:50	80%	5400	Sedang	Peningkatan efisiensi, namun masih belum optimal

Rasio Solar:Residu	Efisiensi Boiler	Konsumsi Bahan Bakar (L/hari)	Emisi Gas Buang	Keterangan
40:60	82%	5300	Rendah	Rasio optimal setelah optimasi
30:70	81%	5350	Sedang	Efisiensi menurun karena terlalu banyak residu
20:80	79%	5450	Tinggi	Efisiensi rendah, konsumsi bahan bakar tinggi

Berdasarkan perhitungan secara langsung didapatkan nilai efisiensi meningkat dari 80,67 % menjadi 83,50%. Sedangkan pada perhitungan secara tidak langsung didapatkan nilai efisiensi yang meningkat dari 80,37% menjadi 82,96%. Pada awalnya, total panas yang masuk dan keluar dari boiler TWA adalah 2.601.195,08 Kcal/jam, sedangkan setelah optimasi, total panas menjadi 2.520.082,95 Kcal/jam. Dengan perubahan *Heat Loss* yang awalnya adalah 510.565 Kcal/Jam menjadi 429.453 Kcal/Jam. Ketika boiler pertama kali digunakan, efisiensinya mencapai 85 %, namun seiring waktu, efisiensi tersebut menurun menjadi 80,67% (Secara Langsung) dan 80,37% (Secara Tidak Langsung).

5. Kesimpulan

Optimasi efisiensi boiler melalui pengurangan konsumsi bahan bakar dari 5486 L/hari menjadi 5300 L/hari telah berhasil meningkatkan efisiensi boiler dari 80,67% menjadi 83,50% berdasarkan perhitungan langsung, dan dari 80,37% menjadi 82,96% berdasarkan perhitungan tidak langsung. Selain itu, optimasi ini juga mengurangi *heat loss* secara signifikan, menekan emisi gas rumah kaca, menurunkan biaya operasional, dan memperpanjang umur boiler. Hasil ini membuktikan bahwa pengelolaan bahan bakar yang lebih efisien tidak hanya memperbaiki kinerja boiler, tetapi juga memberikan dampak positif bagi lingkungan dan ekonomi operasional kilang.

Daftar Pustaka

- [1] A. Meksoub, Y. El Kihel, A. El Kihel, and A. Bakdid, "Efficiency and Compliance of a Steam Boiler With Standards and Regulations," *Int. J. Tech. Phys. Probl. Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 150–155, 2022.
- [2] K. Kunarto, "Analisa Efisien Boiler Pabrik Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Bahan Bakar Fibre Dan Cangkang," in *Proceedings*, Lampung: Universitas Bandar Lampung, 2019.
- [3] A. F. KRISTANTO, "MEMINIMALISIR GANGGUAN DENGAN PREVENTIVE MAINTENANCE BOILER DI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (Studi Kasus pada PT. PJB UBJOM PLTU Rembang)," *J. Energi Dan Manufaktur*, vol. 15, no. 1, p. 32, 2022, doi: 10.24843/jem.2022.v015.i01.p05.
- [4] Nazaruddin, "Optimasi bahan bakar untuk mengetahui kinerja boiler," vol. 5, pp. 75–81, 2017.
- [5] S. Hidayanto, "Analisa Performa Water Tube Boiler Kapasitas 115 Ton/Jam di PT Pertamina Refinery Unit VI Balongan Indramayu," *Skripsi. Semarang: UNNES*, p. 70 hlm, 2016.
- [6] M. Masaji, N. Aisha, and S. Soeprijanto, "Efisiensi Boiler dengan Penambahan Alat Economizer Sebagai Pre-Heater Steam," *J. Tek. ITS*, vol. 12, no. 3, 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i3.119505.
- [7] F. Yulia, G. Sinaga, M. Daris, K. Ra, Z. Dzar, and I. Tegar, "Peningkatan Efisiensi Boiler Dalam Penghematan Energi dan Pengurangan Emisi Gas Buang: Teknikal Review," in *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XX*, Gowa: Universitas Hasanuddin, 2022, pp. 36–44.
- [8] W. N. L. Gusti, T. Prasetyo, and A. Roihatin, "Analisis Efisiensi Fire Tube Boiler TWA Kapasitas 6000 kg/jam Untuk Pemanas Kilang di PPSDM Migas Cepu Kab. Blora Dengan Metode Langsung," in *Prosiding NCIET Vol 3*, Semarang: Politeknik Negeri Semarang, 2022, pp. 13–22.
- [9] S. P. Wicaksana, A. Rahmatulloh, and R. Subandi, "Analisis Efisiensi Boiler Fire-

Tube Pada Produksi Stpp Di Pt Petrocentral Gresik Menggunakan Metode Langsung Dan Tidak Langsung," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 9, no. 3, pp. 258–265, 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i3.3777.

[10] A. B. Prasajo, L. Hakim, and A. Rijanto, "Analisis Efisiensi Boiler Hamada dengan Direct dan Indirect Method di PT Dayasa Aria Prima," *MAJAMECHA*, vol. 2, no. 2, pp. 103–112, 2020.

Daftar Simbol

η	=	Efisiensi, %
W_s	=	Jumlah steam, kg/jam
h_s	=	Enthalpy steam, kcal/kg
h_w	=	Enthalpy air umpan, kcal/kg
W_f	=	Jumlah bahan bakar, kg/jam
HHV	=	Nilai kalori bahan bakar, kcal/kg
Q_p	=	Energi panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar
Q_f	=	Panas yang terkandung dalam bahan bakar yang dapat diukur dengan perubahan suhu (sensible)
Q_w	=	Panas yang terkandung dalam air karena kelembapan bahan bakar
Q_{AI}	=	Panas yang terkandung dalam udara yang digunakan untuk pembakaran
Q_{ma}	=	Panas yang terkandung dalam air akibat kelembapan udara
Q'_{fg}	=	Panas yang dibawa oleh gas buang dari proses pembakaran
Q'_{ma}	=	Panas yang dibawa oleh uap air dalam gas buang akibat kelembapan dalam bahan bakar
Q'_w	=	Panas yang dibawa oleh uap air dalam gas buang akibat kelembapan dalam bahan bakar
Q'_{BD}	=	Panas yang hilang melalui proses <i>blowdown</i>
Q'_H	=	Panas yang terbawa oleh uap air dalam gas buang akibat adanya hidrogen dalam bahan bakar
Q'_{WALL}	=	Panas yang hilang melalui konduksi pada dinding boiler