

PENINGKATAN EFISIENSI TERMAL BOILER MENGGUNAKAN HEAT EXCHANGER TANK: STUDI KASUS DI SEBUAH INDUSTRI KERTAS DAN KEMASAN DI KARAWANG

Robby Prayoga Muttaqin¹, Dicky Suryapranatha²

ti18.robbymuttaqin@mhs.ubpkarawang.ac.id¹, dicky.suryapranatha@ubpkarawang.ac.id²

Universitas Buana Perjuangan Karawang

ABSTRAK

Penggunaan konsumsi energi di sektor industri terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi, dengan boiler sebagai salah satu sistem termal utama yang menyumbang sebagian besar kebutuhan energi. Namun, efisiensi termal boiler konvensional masih rendah akibat panas terbuang yang tidak dimanfaatkan. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi termal boiler melalui penerapan sistem Heat Exchanger Tank (HET) pada industri kertas dan kemasan di Karawang. Permasalahan yang diangkat adalah tingginya konsumsi batubara yang melebihi target efisiensi, disebabkan oleh rendahnya suhu air softener yang masuk ke feed water tank, yaitu hanya 35–40°C. Metode yang digunakan adalah penelitian terapan dengan pendekatan studi kasus eksperimental dan analisis kuantitatif. Intervensi dilakukan dengan memasang HET untuk memanfaatkan panas buangan sehingga suhu air meningkat menjadi 80–90°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi batubara menurun sebesar 6,27%, disertai dengan pengurangan limbah pembakaran (Fly Ash and Bottom Ash) sebesar 20%. Selain itu, penghematan biaya operasional mencapai Rp 301.073.863 per tahun, dengan nilai Return on Investment (ROI) sebesar 404% dan payback period hanya sekitar satu bulan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan HET efektif dalam meningkatkan efisiensi energi, menurunkan emisi limbah, serta memberikan manfaat ekonomi yang signifikan. Temuan ini dapat dijadikan rujukan untuk implementasi strategi waste heat recovery pada sektor industri lain yang bergantung pada sistem boiler.

Kata Kunci: Boiler, Efisiensi Energi, Heat Exchanger, Industri Kertas, Waste Heat Recovery.

ABSTRACT

Energy consumption in the industrial sector continues to increase in line with economic growth, with boilers serving as one of the primary thermal systems contributing significantly to overall energy demand. However, the thermal efficiency of conventional boilers remains low due to unused waste heat. This study aims to improve boiler thermal efficiency through the implementation of a Heat Exchanger Tank (HET) in a paper and packaging industry located in Karawang, Indonesia. The identified problem is the high coal consumption that exceeds efficiency targets, caused by the low temperature of softener water entering the feed water tank, which is only 35–40°C. The research method employed is applied research using an experimental case study approach with quantitative analysis. The intervention involved installing an HET to utilize waste heat, thereby increasing the water temperature to 80–90°C. The results showed a 6.27% reduction in coal consumption, accompanied by a 20% decrease in combustion waste (Fly Ash and Bottom Ash). Additionally, operational cost savings reached IDR 301,073,863 per year, with a Return on Investment (ROI) of 404% and a payback period of approximately one month. The study concludes that the implementation of HET is effective in improving energy efficiency, reducing emission waste, and delivering significant economic benefits. These findings may serve as a reference for adopting waste heat recovery strategies in other energy-intensive industries that rely on boiler systems.

Keywords: Boiler, Energy Efficiency, Heat Exchanger, Paper Industry, Waste Heat Recovery.

PENDAHULUAN

Hampir semua operasi industri dan aktivitas manusia menghasilkan peningkatan yang signifikan dalam kebutuhan energi. telah membuat lebih banyak orang berusaha untuk meningkatkan efisiensi energi. Dengan pertumbuhan ekonomi global dan regional, kebutuhan energi sektor industri terus meningkat, Menurut International Energy Agency (IEA) menyumbang sekitar 37% dari konsumsi energi akhir global. Proses termal, terutama uap, menyumbang sebagian besar konsumsi energi ini (IEA, 2022). Konservasi energi, terutama melalui peningkatan efisiensi sistem termal seperti boiler, sangat penting di tengah tekanan global untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi emisi karbon.

Boiler adalah komponen penting dalam banyak sistem industri karena mereka mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi panas melalui proses pembakaran. Namun, sistem boiler konvensional kurang efisien secara termal karena sebagian besar energi hilang karena radiasi permukaan, blowdown, dan panas buang (Saidur et al., 2010).

Menurut Djokosetyardjo (dalam Dwi Satriyo Widodo et al. 2024), menerangkan bahwa Boiler merupakan alat yang digunakan untuk mengubah air menjadi steam dengan panas yang diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan dapat berupa batu bara, natural gas, dan minyak solar. Steam yang dihasilkan dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan proses seperti penggerak turbin, cleaning, automasi minyak, dan pemanasan atau pengeringan bahan baku.

Efisiensi termal boiler sangat berpengaruh pada konsumsi energi dan biaya operasional, terutama dalam sektor yang sangat membutuhkan energi seperti industri kertas dan kemasan. Dengan meningkatnya tuntutan akan efisiensi energi dan keberlanjutan industri, boiler harus dioptimalkan untuk menghasilkan uap yang lebih baik (Yan et al., 2021). Oleh karena itu, pemanfaatan kembali energi panas yang terbuang atau yang disebut sebagai waste heat recovery menjadi strategi penting untuk meningkatkan efisiensi energi di sektor industri.

Salah satu teknologi yang banyak diterapkan untuk mengatasi permasalahan ini adalah Heat Exchanger Tank (HET). Penukar panas atau dalam dunia industri dikenal dengan istilah heat exchanger (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas dan dapat berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya medium pemanas memakai uap (super heated steam) sebagai pemanas, dan air biasanya sebagai pendingin (cooling water). (Annisa Aqila et al.2023).

Dalam hal ini, heat exchanger muncul sebagai salah satu solusi yang bagus untuk meningkatkan efisiensi energi dalam berbagai aplikasi industri. Teknologi ini bekerja dengan memanfaatkan panas dari gas buang atau fluida panas lainnya untuk memanaskan air umpan boiler, sehingga mengurangi kebutuhan energi input dan meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem (Ghazikhani et al., 2020). Efektivitas penggunaan heat exchanger telah terbukti dalam berbagai studi, yang menunjukkan peningkatan efisiensi termal hingga 20% serta penurunan emisi gas rumah kaca secara signifikan (Basha et al., 2019).

Menurut Budiman, Syarief & Isworo, 2014 dalam Aliyah Shahab et al. 2023 menyatakan, alat penukar panas berdasarkan bentuknya dibedakan menjadi beberapa, yaitu:

1. Shell and Tube Exchanger yaitu aliran penukaran panas yang terdiri dari sejumlah tube yang terpasang di dalam sebuah shell yang berbentuk silinder. Pada ujung tube terpasang tube sheet yang berguna untuk memisahkan aliran fluida dalam tube dan sheet. Baffle di pasang di dalam shell untuk mengatur aliran fluida dalam shell dan untuk memasang tube. Tujuan pemasangan fluida dalam shell dan tube adalah

memperoleh efisiensi yang tinggi dan kemudian dalam pemeliharaan. Kemampuan transfernya dapat lebih besar dan dapat digunakan untuk bermacam jenis fluida.

2. Double Pipe Heat Exchanger yaitu alat penukar panas yang menggunakan dua pipa yang di letakan secara konsentrasi. Dimana suatu fluida mengalir melalui bagian dalam pipa kecil dan fluida lainnya mengalir keluar.
3. Fixed Tube Side yaitu alat penukar panas yang tube sheet nya bersatu dengan shell. Ditinjau dari segi perawatan dan pemeliharaannya tipe ini cukup sulit karena tube bundle tetap di dalam shell.
4. Tipe U Tube atau U Bundle yaitu alat penukar panas yang memiliki konstruksi konstruksi satu tube sheet, dimana tube bundle menjadi satu dan tube bundle dapat dikeluarkan dari shell-nya. Digunakan untuk perbedaan suhu tinggi.
5. Tipe Floating Tube Sheet atau Floating Exchanger yaitu alat penukar panas yang memiliki Floating Head sehingga tube akan mengembang atau menyusut secara longitudinal dengan bebas, dengan cara menarik atau mendorong Floating head yang dapat bergerak maju dan mundur di dalam shell. Digunakan untuk perbedaan suhu yang tinggi.
6. Tipe ketel yaitu alat penukar panas yang memiliki konstruksi shell nya di perbesar sebagian untuk ruangan uap atau ruangan pendingin untuk memudahkan pendinginan. Alat pemukar panas ini tidak mempunyai shell cover seperti pada alat penukar panas lainnya.
7. Pipe Coil yaitu alat penukar panas yang berfungsi untuk pemanas dan pendingin. Tipe ini juga mempunyai perpindahan panas yang relatif rendah.
8. Tipe Box yaitu alat penukar panas yang bagian shell nya berbentuk seperti box atau kotak, sedangkan fluida yang di lewatkan pada tube nya dan sebagai media pendingin digunakan air. Dalam praktek fungsi penukar kalor yang dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energi dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. (Bary Septian et al. 2021).

HPH merupakan contoh dari alat penukar panas (heat exchanger/HE). Fungsi dari HE adalah mengubah temperatur fasa suatu jenis fluida dengan memanfaatkan proses perpindahan panas/kalor dari fluida yang memiliki temperatur tinggi ke fluida dengan temperatur rendah. (Putri Sundari et al. 2022).

Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. (Ibnu Eka Rahayu et al. 2021).

Menurut Wicaksono dalam (Rizqi Ilmal Yaqin et al. 2022) menyatakan, fenomena perpindahan panas tersebut merupakan cara untuk melepaskan dan menerima panas dalam suatu proses sehingga suhu yang dihasilkan akan mengalami perubahan.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi termal boiler, salah satunya melalui penerapan teknologi heat exchanger untuk pemanfaatan kembali panas buangan. Menurut Karellas et al. (2012), Performa heat exchanger dapat ditinjau dari nilai effectiveness. Semakin tinggi beban pendinginan pada heat exchanger maka nilai effectiveness juga semakin tinggi. (Nur Sapti Marsheliyana et al. 2013).

Menurut A. Husen (dalam Aris Setiawan et al. 2022) menyatakan dalam penerapan heat exchanger terdapat permasalahan yang masih muncul hingga saat ini yaitu laju perpindahan panas yang ditransfer oleh heat exchanger ke mesin boiler masih sering mengalami penurunan temperatur 65°C.

Integrasi sistem pemulihan panas seperti economizer dan heat recovery dapat meningkatkan efisiensi termal sistem uap hingga 8–10% dalam aplikasi industri (Energy, 45(1), 29–38). Studi oleh Zhou et al. (2017) dalam Energy Conversion and Management menyatakan bahwa preheating air umpan (feed water) menggunakan heat exchanger

secara signifikan mengurangi konsumsi energi dan memperpanjang umur peralatan boiler (Energy Conversion and Management, 136, 329–339). Demikian pula, Wang et al. (2020) menunjukkan bahwa penerapan sistem waste heat recovery pada boiler dapat mengurangi emisi CO₂ hingga 12% dan mempercepat payback period investasi (Applied Thermal Engineering, 165, 114588).

Karena masing-masing jenis heat exchanger memiliki fitur dan fungsi yang berbeda, sangat penting untuk memilih jenis heat exchanger yang tepat.

berbeda, yang dapat berdampak pada efisiensi dan kinerja sistem secara keseluruhan (Ahmad & Riffat, 2020). Salah satu jenis heat exchanger yang sering digunakan yaitu shell and tube, dimana tipe ini terdiri dari serangkaian tabung yang dikelilingi oleh shell, memungkinkan satu fluida mengalir melalui tabung sementara fluida lainnya mengalir di luar tabung dalam shell (Shubham M Patil et al., 2022). Penukar panas shell and tube memiliki tingkat efisiensi tinggi dan memiliki volume kecil.

dan luas permukaan yang besar, yang menghemat ruang, mudah dirawat, dan sesuai dengan hampir semua jenis alat pendingin cair (Zohuri, 2017).

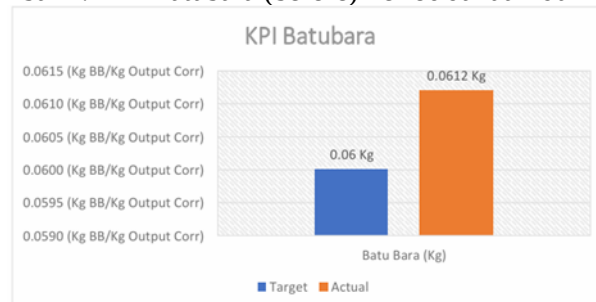
Sebelum air umpan masuk kedalam Boiler, air umpan akan dipanaskan terlebih dahulu didalam Economizer berbentuk tabung. (Panjaitan J. R. H et al. 2025).

Menurut Suhardi, S. dalam (Panjaitan J. R. H et al. 2025) menerangkan bahwa Economizer berfungsi untuk mengurangi penggunaan bahan bakar dengan memanfaatkan panas dari gas buang sebelum dilepaskan ke atmosfer.

Fenomena inilah yang menjadi dasar pelaksanaan proyek Continuous Improvement (CI) Studi ini menghadirkan kebaruan ilmiah dengan mengkaji penerapan sistem heat exchanger tank untuk memanaskan air softener sebelum masuk ke feed water tank pada sistem boiler di PT XYZ, salah satu perusahaan manufaktur karton terkemuka yang beroperasi di Karawang, Jawa Barat. Perusahaan ini mengandalkan sistem boiler berbahan bakar batubara sebagai sumber utama uap panas untuk mesin corrugator dalam produksi corrugated carton box.



Gambar 1. KPI Batubara (before) Period Januari-Juni 2024



Gambar 2. KPI Batubara (before) periode Januari-Juni 2024

Berdasarkan data internal periode Januari–Juni 2023, konsumsi batubara tercatat fluktuatif dan konsisten melebihi target efisiensi yang ditetapkan, yaitu 0,060 kg BB/kg output, dengan angka aktual mencapai hingga 0,071 kg BB/kg output pada April 2024. Analisis lebih lanjut menemukan bahwa salah satu penyebab utama inefisiensi adalah rendahnya suhu air yang masuk ke feed water tank (35–40°C), yang menyebabkan beban

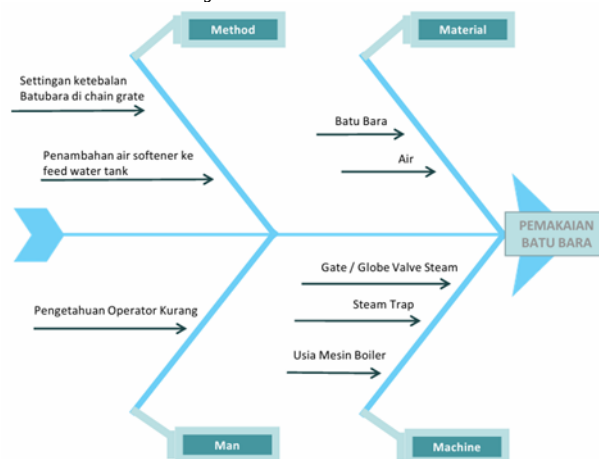
panas pada boiler meningkat. Penambahan air softener dalam kondisi suhu ruang ini membuat efisiensi termal menurun dan konsumsi batubara meningkat. Permasalahan penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: “Apakah penerapan heat exchanger tank secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi termal boiler dan mengurangi konsumsi batubara dalam proses produksi di industri kertas dan kemasan?” Pertanyaan ini memunculkan hipotesis bahwa peningkatan suhu awal air umpan boiler akan menurunkan kebutuhan energi batubara per satuan output produksi. Oleh karena itu, tujuan dari kajian ini adalah merancang dan mengimplementasikan Heat Exchanger Tank (HET) untuk memanaskan air softener sebelum masuk ke boiler.

METODE PENELITIAN

terapan kuantitatif-deskriptif, yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penerapan teknologi heat exchanger tank terhadap efisiensi termal sistem boiler industri. Pendekatan yang digunakan adalah studi kasus eksperimental, dengan pengamatan langsung terhadap variabel sebelum dan sesudah implementasi solusi teknis.

Pemecahan masalah dilakukan melalui siklus Continuous Improvement. Teknik yang digunakan mencakup observasi lapangan, pencatatan data pemakaian energi, pengukuran suhu air, analisis statistik, serta evaluasi dampak teknis dan ekonomi.

Analisis akar masalah dilakukan melalui metode Fishbone Diagram dan evaluasi kuantitatif menggunakan Pareto Analysis.



Gambar 3. Fishbone Diagram Penyebab Masalah

Untuk menentukan nilai akar penyebab dominan dalam tahap Analisa sebab akibat Fish Bone di atas, penulis juga menggunakan metode Brainstorming dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Brainstorming Penyebab Dominan

No	Masalah	ZK	Rb	AT	WG	NG	AR	Sum	%	Kum
1	Penambahan air <i>softener</i> ke <i>feed water tank</i>	3	3	3	3	3	3	18	50%	50%
2	Setting ketebalan batubara di <i>chain grate</i>	1	2	2	1	2	1	9	25%	75%
3	Air	3	1	1	2	1	2	9	25%	100%
Total		6						36	100%	

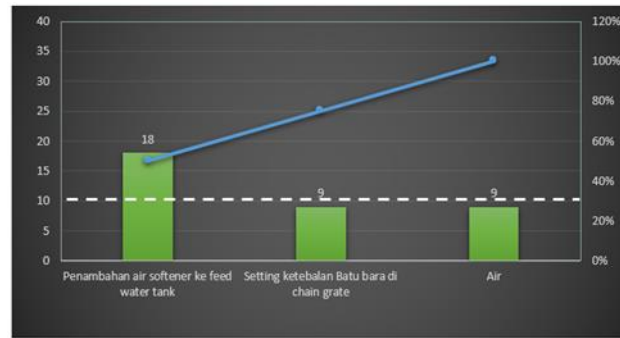
$$\text{Nilai NGT} = \frac{(\text{Faktor Penyebab} \times \text{Jumlah Peserta}) + 1}{2}$$

$$= \frac{(3 \times 6) + 1}{2} = 10 \quad (1)$$

Faktor penyebab dominan adalah dengan nilai NGT ≥ 10 .

Selanjutnya digunakan diagram pareto untuk menentukan akar penyebab dominan

dari masalah yang ada.



Gambar 4. Diagram Pareto Penyebab Masalah Dominan

Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa ada tiga akar penyebab dominan dari pemborosan konsumsi batubara:

1. Suhu air softener yang rendah (di bawah 40°C)
2. Setting ketebalan batubara yang tidak optimal di chain grate
3. Kualitas air softener yang tidak memenuhi standar suhu untuk efisiensi pembakaran

Dengan hasil evaluasi menggunakan metode Nominal Group Technique (NGT) dan Pareto, penyebab dominan ditentukan adalah suhu rendah air softener, yang kemudian menjadi fokus perbaikan.

Dari permasalahan tersebut, dilakukan intervensi teknis berupa instalasi Heat Exchanger Tank antara Water Softener Tank dan Feed Water Tank. Peran utamanya adalah menaikkan temperatur air sebelum masuk ke boiler, sehingga mengurangi beban energi dalam proses pembentukan uap.

Evaluasi efisiensi dilakukan dengan membandingkan konsumsi batubara sebelum dan sesudah implementasi, dihitung melalui persamaan berikut:

$$\Delta B = B_{before} - B_{after} \quad (2)$$

ΔB : Selisih konsumsi batubara (kg/kg output)

B_{before} : konsumsi batubara sebelum pemasangan *heat exchanger*

B_{after} : Konsumsi batubara sesudah pemasangan

Penghematan biaya energi dihitung dengan rumus:

$$C_{saving} = \Delta B \times Q \times H \quad (3)$$

C_{saving} : biaya yang di hemat (Rp)

Q : *Output Corrugator* (kg)

H : Harga Batubara per kg (Rp)

Total *Cost Saving* dan *Real Cost Saving* dilakukan dengan perhitungan:

$$TCS = C_{saving} \times 12 \text{bulan} \quad (4)$$

$$RCS = TCS - ((TI/UI) + BL) \quad (5)$$

Evaluasi ekonomi dilakukan dengan perhitungan ROI:

$$ROI (\%) = \frac{RCS}{\left(\frac{TI}{UI} + BL\right)} \times 100\% \quad (6)$$

RCS : *Real Cost Saving* (Rp/Tahun)

TI : Total Investasi (Rp)

UI : Umur Investasi (Tahun)

BL : Biaya Lainnya (Rp/Tahun)

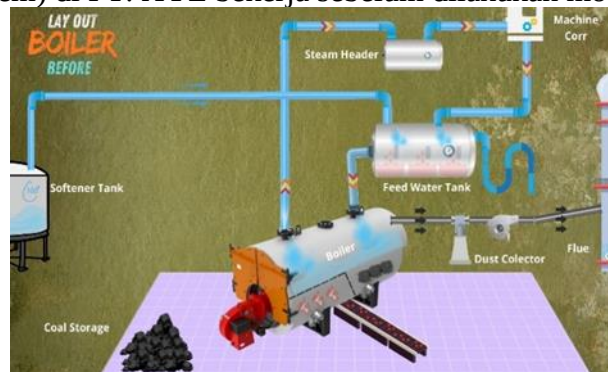
Dan waktu pengembalian investasi (payback Period) dihitung dengan:

$$PBP = \frac{TI/UI}{RCS} \quad (7)$$

Perhitungan ini digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan teknis dan finansial dari intervensi teknologi heat exchanger pada sistem boiler Perusahaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk memahami secara menyeluruh dari permasalahan yang dihadapi serta solusi yang diterapkan, sangat penting untuk terlebih dahulu mengetahui bagaimana sistem pemanas (boiler system) di PT. XYZ bekerja sebelum dilakukan modifikasi.



Gambar 5. Layout Boiler Before

Masalah utama dalam sistem awal boiler PT.XYZ menggunakan pendekatan konvensional di mana air dari softener tank dialirkan langsung ke feed water tanpa proses pemanasan awal, yang mengakibatkan suhu air yang masuk ke boiler masih relatif rendah (sekitar 35-40°C) sehingga konsumsi batubara yang tinggi untuk mencapai suhu kerja uap dan tidak mencapai KPI target yang dapat dilihat di Gambar 2. Berdasarkan data periode Januari-Juni 2024, konsumsi batubara berkisar antara 0,0569-0,0710 kg/Kg Output corr, dengan nilai tertinggi tercatat pada bulan april.

Pada Gambar 3 fishbone diagram dan Gambar 4 pareto analysis menyatakan akar masalah dominan adalah suhu air softener yang terlalu rendah.

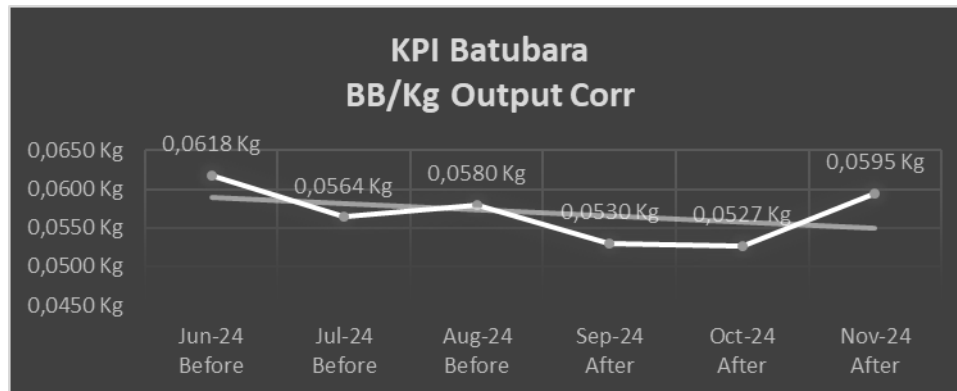
Sebagai solusi, perlu dilakukan pemasangan heat exchanger tank di antara water softener tank dan feed water untuk memanfaatkan panas buangan dan meningkatkan suhu air dari $\pm 35-40^{\circ}\text{C}$ menjadi $\pm 80-90^{\circ}\text{C}$.

Instalasi heat exchanger dilakukan pada bulan September 2024 yang bertujuan utama untuk meningkatkan suhu air sehingga mengurangi beban pemanasan pada boiler. Berikut layout sistem yang telah dimodifikasi setelah intervensi ditampilkan pada ilustrasi berikut:



Gambar 6. Layout Boiler After

Pengujian sebelum menggunakan heat exchanger tank dan setelah menggunakan heat exchanger tank selama tiga bulan dihitung dari bulan Juni 2024 sampai dengan bulan November 2024. Didapatkan hasil trend pemakaian batubara dibagi output produksi corrugator dibawah ini.



Gambar 7. Trend Pemakaian Batubara dari Bulan Juni Sampai November 2024

Berdasarkan grafik trend diatas diperoleh hasil perbaikan berdasarkan ukuran yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Grafik Trend Perbaikan

Pencapaian Hasil	Sebelum Perbaikan	Target	Setelah Perbaikan	% Pencapaian
Perbaikan (sesuai ukuran yang digunakan)	Rata-rata pemakaian BB/Kg Output Corr = 0,0587 Kg	Penurunan pemakaian BB sebanyak 3%	Rata-rata pemakaian BB/Kg Output Corr = 0,0551 Kg	$\frac{0,0587 - 0,0551}{0,0587} \times 1 = 6,27\%$

Dari tabel tersebut, setiap 1 kg output corrugator bisa menghemat 3,6 kg batubara dengan output produksi 5.839.093 Kg dan harga batubara Rp 1.456/Kg, sehingga diperoleh.

$$C_{\text{saving}} = \Delta B \times Q \times H$$

$$C_{\text{saving}} = 0,0036 \times 5.839.093 \times 1.465$$

(8)

$$= \text{Rp } 31.298.44$$

Dengan Total Cost Saving:

$$TCS = \text{Rp } 31.298.44 \times 12 \text{ bulan}$$

$$= \text{Rp } 375.581.328/\text{tahun} \quad (9)$$

Untuk mengetahui Real Cost Saving, dimana Total Investasi (TI) = Rp. 51.567.850. hasil ini di dapatkan dari tabel data investasi;

#	Material Description	QTY	Status	Purchase Req.	Remark	Price	Tot. Price
1	CAT JOTUN MARINE COATING COKLAT	3 Pc	Order	No. PR : 1085028586		Rp 1.155.000	Rp 3.465.000
2	PIPA BLACK STEEL 2 INCH	3 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 850.000	Rp 2.550.000
3	PIPA BLACK STEEL 1 1/2 INCH	3 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 635.000	Rp 1.905.000
4	REDUCER 2 1/2 - 1 1/2 BLACK STEEL	1 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 54.000	Rp 54.000
5	FLANGE 2 1/2 INCH JIS	1 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 93.000	Rp 93.000
6	REDUCER 3 - 1 1/2 BLACK STEEL	2 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 63.000	Rp 126.000
7	ELBOW 1 1/2 INCH BLACK STEEL	7 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 16.000	Rp 112.000
8	REDUCER 2 - 1 1/2 BLACK STEEL	1 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 23.000	Rp 23.000
9	ELBOW 2 INCH BLACK STEEL	5 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 25.000	Rp 125.000
10	FLANGE 2 INCH JIS	10 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 68.000	Rp 680.000
11	FLANGE 1 1/2 INCH JIS	7 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 58.000	Rp 406.000
12	FLANGE 3 INCH JIS	2 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 96.000	Rp 192.000
13	TEE REDUCER 2 - 1 1/2 BLACK STEEL	1 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 62.000	Rp 62.000
14	TEE 2 INCH BLACK STEEL	2 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 52.000	Rp 104.000
15	GATE VALVE 2 INCH JOINT FLANGE KITZ	4 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 2.108.400	Rp 8.433.600
16	GATE VALVE 1 1/2 INCH JOINT FLANGE KITZ	3 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 1.805.550	Rp 5.416.650
17	CHECK VALVE JOINT FLANGE 2 INCH KITZ	1 Pc	Order	No. PR : 1084977412		Rp 2.026.600	Rp 2.026.600
18	GLASS WOOL ALUMINIUM FOIL 50MM X 1200MM	15 Pc	Order	No. PR : 1084977411		Rp 760.000	Rp 11.400.000
19	BESI PLAT TEBAL 2400 X 1200 X 10 MM	1 Pc	Order	No. PR : 1084717429		Rp 3.550.000	Rp 3.550.000
20	TEMPERATURE CONTROL TK45-14RN	1 Pc	Order	No. PR : 1083876074		Rp 657.000	Rp 657.000
21	TW-NI(PT100), THERMOCOUPLE	1 Pc	Order	No. PR : 1083876074		Rp 337.000	Rp 337.000
22	UHZ MAGNETIC LEVEL GAUGE SS 304 1000MM	1 Pc	Order	No. PR : 1085639909		Rp 9.850.000	Rp 9.850.000
23	Actuator valve FESTO	2 Pc	Ready Stock		Sisa project MHI	Rp -	Rp -
24	GATE VALVE 3 INCH JOINT FLANGE	1 Pc	Ready Stock		Existing terpasang	Rp -	Rp -
25	Globe Valve 3/4"	2 Pc	Ready Stock		Sisa project MHI	Rp -	Rp -
26	Tangki Condensate	1 Unit	Ready Stock		Bekas tangki condensate boiler 6,75ton	Rp -	Rp -
						TOTAL	Rp 51.567.850

Gambar 8. Data Investasi

Dari tabel data investasi tersebut di perkirakan umur investasi selama 2 tahun dengan biaya lainnya berjumlah:

$$\begin{aligned} BL &= \text{Rp. } 4060.296 \times 12 \\ &= \text{Rp. } 48.723.540/\text{tahun} \end{aligned} \quad (10)$$

Setelah di dapat hasil dari TCS, TI, UI, dan BL maka Real Cost Saving adalah:

$$\begin{aligned} RCS &= TCS - ((TI/UI) + BL) \\ RCS &= 375.581.328 - ((51.567.850/2) + 48.723.540) \\ RCS &= 375.581.328 - (25.785.925 + 48.723.540) \\ RCS &= 375.581.328 - 74.507.465 \\ RCS &= \text{Rp. } 301.073.863 \end{aligned} \quad (11)$$

Jadi total real cost saving (TRCS) adalah Rp. 301.073.863.

Serta FABA (Fly Ash And Bottom Ash) yang dihasilkan dari sebelum dan sesudah perbaikan adalah:

Tabel 3. Hasil Fly Ash And Bottom Ash	
Periode	FABA (Kg/Kg <i>Ouput</i> Corr)
Juni-Agustus 2024	0.0050 Kg <i>Ouput</i> Corr
September-November 2024	0,0040 Kg <i>Ouput</i> Corr
Penurunan	0,0010 Kg <i>Ouput</i> Corr

Ini menunjukkan pembakaran menjadi lebih sempurna, sehingga menghasilkan limbah yang lebih sedikit.

Selain aspek teknis dan lingkungan, keberhasilan dari perbaikan ini ditentukan juga oleh efisiensi finansialnya. Oleh karena itu, setelah dilakukan implementasi sistem heat exchanger tank, perlu di perhitungkan sejauh mana dampak finansial yang dihasilkan dari penghematan energi yang dicapai. Penilaian dilakukan dengan menggunakan dua indikator utama, yaitu Return on Investment (ROI) dan Payback Period (PBP). ROI menggambarkan seberapa besar keuntungan yang di peroleh dibandingkan dengan biaya investasi yang dikeluarkan, sedangkan PBP menunjukkan seberapa cepat investasi tersebut kembali melalui penghematan aktual.

Perhitungan berikut berdasarkan pada data realisasi penghematan konsumsi batubara, total invesasi, biaya operasional tambahan, dan umur ekonomis proyek.

Perhitungan biaya dan penghematan sebagai berikut:

- Total Investasi (TI): Rp. 51.567.850
- Umur Investasi (UI): 2 Tahun
- Biaya Lainnya (BL): Rp. 48.723.540/tahun
- Real Cost Saving (RCS): Rp. 301.073.863/tahun

$$\begin{aligned} OI (\%) &= \frac{RCS}{\left(\frac{TI}{UI} + BL\right)} \times 100 & ROI (\%) &= \frac{301.073.863}{\left(\frac{51.567.850}{2} + 48.723.540\right)} \times 100\% \\ ROI (\%) &= \frac{301.073.863}{74.507.465} \times 100\% \\ ROI (\%) &= 404\% \end{aligned} \quad (12)$$

Maka *payback period* mendapatkan hasil perhitungan:

$$\begin{aligned} PBP &= \frac{TI/UI}{RCS} \\ PBP &= \frac{51.567.850/2}{301.073.863} \\ PBP &= 0,086 \text{ tahun} \approx 1 \text{ bulan} \end{aligned} \quad (13)$$

Berdasarkan hasil evaluasi teknis, lingkungan dan finansial, didapatkan bahwa penerapan sistem heat exchanger tank memberikan dampak yang signifikan dan menyeluruh dalam meningkatkan efisiensi termal boiler di PT. XYZ. Penurunan konsumsi

batubara sebesar 6.27%, tidak hanya menghasilkan penghematan biaya tahunan tetapi juga mengurangi limbah pembakaran berupa FAB hingga 20%.

Dari sisi ekonomi, capaian ROI sebesar 404% dan payback period hanya ± 1 bulan yang memastikan bahwa investasi ini sangat layak dan efektif, baik untuk jangka pendek maupun jangka Panjang. Keberhasilan ini juga mengindikasikan bahwa pendekatan waste heat recovery dapat menjadi strategi replikasi yang efisien untuk sektor industri serupa di Indonesia.

Dengan keberhasilan pada tiga aspek utama yaitu efisiensi energi, pengurangan dampak lingkungan, dan pengembalian investasi yang cepat. Maka hasil penelitian ini dapat dijadikan sebagai model implementasi continuous improvement yang konkret, terukur, dan berdampak langsung terhadap keberlanjutan operasional industri.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa penerapan heat exchanger tank secara signifikan meningkatkan efisiensi termal boiler dan menurunkan konsumsi batubara di industri kertas dan kemasan. Hipotesis bahwa peningkatan suhu awal air umpan boiler akan mengurangi kebutuhan energi batubara terbukti melalui penurunan konsumsi batu bara sebesar 6,27% dari rata-rata 0.0587 kg/kg output menjadi 0,0551 kg/kg output setelah intervensi. Selain penghematan energi, dampak lingkungan juga menunjukkan perbaikan dengan penurunan limbah pembakaran (fly ash and bottom ash) sebesar 20%.

Secara ekonomi, sistem ini menunjukkan kinerja sangat menguntungkan dengan Return on Investment (ROI) sebesar 404% dan Payback Period hanya sekitar 1 bulan, yang mengindikasikan bahwa investasi teknologi ini tidak hanya layak tetapi sangat cepat memberikan keuntungan. Hasil penelitian ini memperkuat pentingnya strategi waste heat recovery sebagai solusi konkret untuk efisiensi energi industri.

Sebagai kelanjutannya, pendekatan ini dapat dijadikan model implementasi continuous improvement pada industri sejenis di Indonesia, sekaligus membuka peluang penelitian lebih lanjut terkait optimalisasi desain dan integrasi sistem HET dalam berbagai skenario proses termal industri lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. I., & Riffat, S. (2020). Heat Exchanger: The Heart of Energy Recovery System. In M. I. Ahmad & S. Riffat (Eds.), *Energy Recovery Technology for Building Applications: Green Innovation towards a Sustainable Future* (pp. 25–42). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50006-1_4
- Aqila, A., Safitri, N., & Suprihardi, S. (2023). Analisis Kerja High Pressure Heater Tipe Shell And Tube Heat Exchanger di PLTU PT. PLN Nusantara Power UPK Nagan Raya 2 X 110 MW. *Jurnal Tektro*, 7(2), 225-233.
- Basha, H. S., Velraj, R., & Arunachalam, S. (2019). Performance evaluation of waste heat recovery systems for enhancing energy efficiency in industrial steam boilers. *Applied Thermal Engineering*, 147, 366–376. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.063>
- Ghazikhani, M., Mirsalim, M., & Jafarmadar, S. (2020). Waste heat recovery systems for industrial applications: A review. *Energy Conversion and Management*, 210, 112707. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112707>
- IEA. (2022). *Energy Efficiency 2022: Analysis and forecast to 2025*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>
- Karellas, S., Leontaritis, A.-D., Panousis, G., & Kakaras, E. (2012). "Energy efficiency of advanced heat recovery systems in thermal processes." *Energy*, 45(1), 29–38. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.021>
- Marsheliyana, N. S., & Ichsani, D. (2013). *Desain Compact Heat Exchanger Tipe Plate Fin*

- Sebagai Pendingin Motor Pada Boiler Feed Pump. *Jurnal Teknik ITS*, 2(3), B404-B408.
- Panjaitan, J. R. H., Manurung, A. T., Galingging, V. H., & Purba, S. A. (2025). EVALUATION OF ECONOMIZER HEAT TRANSFER IN BOILER RECOVERY UNITS IN PULP FACTORY. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 26(1), 10-15.
- Rahayu, I. E. (2021). Analisis kinerja heat exchanger pada preheater CDU V di Kilang RU V Balikpapan. *JURNAL TEKNIK KIMIA VOKASIONAL (JIMSI)*, 1(1), 1-9.
- Saidur, R., Rezaei, M., Muzammil, W. K., Hassan, M. H., Paria, S., & Hasanuzzaman, M. (2010). Technologies to recover heat from industrial processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1247–1265. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.003>
- Septian, B., Rey, P. D., & AZIZ, A. (2021). Desain dan rancang bangun alat penukar kalor (heat exchanger) jenis shell dan tube. *Jurnal Baut Dan Manufaktur: Jurnal Keilmuan Teknik Mesin Dan Teknik Industri*, 3(01), 52-60.
- Setiawan, A., & Pracoyo, W. (2022). Analisis Kinerja Exhaust Gas Heat Exchanger Dengan Menggunakan Diagram Pareto. *TEKNOSAINS: Jurnal Sains, Teknologi dan Informatika*, 9(2), 83-89.
- Shahab, A., & Wahyuningsi, A. (2023). Evaluasi Kinerja Heat Exchanger-003 Di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak Dan Gas Bumi (PPSDM Migas Cepu). *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(8), 3229-3242.
- Shubham M Patil, Akash Y Shelke, Tushar S Kamble, Dr. Pratibha R Gawande, & Dr. Meera T Sose. (2022). A Review on Study of Shell and Tube Heat Exchanger. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 141–146. <https://doi.org/10.32628/ijrst229218>
- Sundari, P., & Sigiyo, B. K. (2022). Pengaruh Jumlah Plug pada High Pressure Heater (HPH) sebagai Pemanas Awal Air Umpan Boiler PLTU PT X. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 6(2), 62-67.
- Wang, X., Liu, C., & Zhao, X. (2020). "Waste heat recovery from boiler flue gas via a shell and tube heat exchanger." *Applied Thermal Engineering*, 165, 114588. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114588>
- Widodo, D. S., Darmawan, R., & Aldila, M. (2024). EVALUASI HEAT EXCHANGER DAN BOILER DI PT SALIM IVOMAS PRATAMA REFINERY UNIT SURABAYA. *Prosiding Semnastek*.
- Yan, Y. Y., Chen, Y., & Hu, R. (2021). Industrial boiler efficiency optimization based on energy and exergy analysis. *Energy Reports*, 7, 612–622. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.09.060>
- Zhou, C., Li, H., Wang, Y., & Zhang, H. (2017). "Improving the energy efficiency of industrial boilers via heat recovery systems." *Energy Conversion and Management*, 136, 329–339. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.040>
- Zohuri, B. (2017). RETRACTED CHAPTER: Heat Exchanger Types and Classifications. In B. Zohuri (Ed.), *Retracted Book: Compact Heat Exchangers: Section, Application, Design and Evaluation* (pp. 19–56). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-29835-1_2.