

Efisiensi Thermal Alat Economizer pada Pre-Treatment Section dalam Pengolahan Crude Palm Oil (CPO)

Thermal Efficiency of Economizer Equipment in the Pre-treatment Section of Crude Palm Oil (CPO) Processing

Eko Ariyanto^{a,b*}, Muhammad Faris Alqorni^a, Mardwita Mardwita^a

^aProgram Studi Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, 30263, Sumatera Selatan, Indonesia

^bProgram Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Muhammadiyah Palembang, Palembang, 30263, Sumatera Selatan, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 22 Juni 2023
Diterima dalam revisi 20 Januari 2024
Diterima 22 Januari 2024
Online 30 Januari 2024

ABSTRAK: Dalam industri pengolahan CPO, efisiensi energi pada alat *economizer* menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat *economizer* dalam mentransfer energi panas pada aliran fluida Crude Palm Oil (CPO) dan Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO). Metode penelitian yang dilakukan adalah pengamatan langsung dengan pengukuran suhu dan aliran fluida, dari data tersebut dihitung heat loss dan evaluasi efisiensi termal pada PT XYZ. Hasil penelitian menunjukkan terjadi fluktuasi temperatur pada aliran masuk dan keluar CPO dan RBDPO. Fluktuasi ini dipengaruhi oleh perubahan variabel aliran fluida yang masuk. Aliran massa RBDPO mengalami peningkatan dari 33.659,98 kg/jam menjadi 36.720 kg/jam, sementara aliran CPO tertinggi pada 37.280 kg/jam. Efisiensi termal alat Economizer HE-T521A diperoleh dengan nilai rata-rata sebesar 89,45%. Efisiensi termal tertinggi dicapai pada tanggal 22 Februari 2023, yaitu mencapai 91,09%, sedangkan nilai terendah terjadi pada tanggal 24 Februari 2023, sebesar 88,58%. Meskipun efisiensi termal masih di bawah target desain 94%, alat ini tetap memberikan efisiensi termal yang relatif baik. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perbaikan dan pemantauan lebih lanjut guna meningkatkan efisiensi termal alat sesuai dengan desain yang diharapkan.

Kata Kunci: crude palm oil; refined bleached and deodorized palm oil; efisiensi termal; fluktuasi; kelapa sawit

ABSTRACT: In the CPO processing industry, the efficiency of the economizer plays a crucial role in enhancing production effectiveness. This study aims to analyze the performance of the economizer in transferring heat energy to the fluid flows of Crude Palm Oil (CPO) and Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO). The research method involved direct observation with measurements of temperature and fluid flow at PT XYZ. From these data, heat loss and thermal efficiency were calculated. The results showed temperature fluctuations in the inflow and outflow of CPO and RBDPO. These fluctuations can be affected by changes in the incoming fluid flow. Fluid flow entered CPO and RBDPO during the research period. The mass flow of RBDPO increased from 33,659.98 kg/hour to 36,720 kg/hour, while CPO's flow peaked at 37,280 kg/hour. The thermal efficiency of the Economizer HE-T521A has an average value of 89.45%. The highest thermal efficiency was achieved on February 22, 2023, reaching 91.09%, while the lowest value occurred on February 24, 2023, amounting to 88.58%. Even though the thermal efficiency is below the design target of 94%, this *economizer* still provides relatively good thermal efficiency. The results of this study can be used as a basis for further improvement and monitoring to increase the tool's thermal efficiency according to the expected design.

Keywords: crude palm oil; refined bleached and deodorized palm oil; thermal efficiency; fluctuations; Palm oil

* Corresponding Author:

Email: eko_ariyanto@um-palembang.ac.id

1. Pendahuluan

Crude Palm Oil (CPO) adalah minyak nabati yang serba guna dan banyak digunakan yang berasal dari buah pohon kelapa sawit. Minyak ini merupakan komponen penting dari banyak produk, termasuk makanan, kosmetik, dan biodiesel. CPO diproduksi dari pohon kelapa sawit yang tumbuh di daerah tropis seperti Indonesia dan Malaysia (Ezechi & Muda, 2019; Kurnia et al., 2016; Syaichurrozi et al., 2022). Pohon kelapa sawit menghasilkan tandan buah, yang dipanen dan diproses untuk mengekstrak minyak. Tandan buah pertama-tama disterilkan untuk mencegah pertumbuhan bakteri dan kemudian dipisahkan dagingnya untuk mendapatkan minyak kelapa sawit.

Dalam industri pengolahan CPO, efisiensi energi dan penghematan biaya operasional menjadi faktor penting dalam meningkatkan efektivitas produksi. Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi energi adalah dengan menggunakan alat economizer yang dapat memanfaatkan panas buang dari sistem pemanasan (Kaewmai et al., 2013). Pada penelitian Ibrahim et al. (2022), penempatan peralatan economizer dapat memberikan penghematan energi pada pemulihan panasnya hingga 72,3%.

Efisiensi economizer sangat penting di pabrik penyulingan minyak sawit mentah karena dapat memberikan beberapa manfaat, antara lain: (1) mengurangi konsumsi bahan bakar (Wang et al., 2014), (2) mengurangi emisi gas rumah kaca (Deymi-Dashtebayaz et al., 2019), (3) meningkatkan efisiensi termal (Zarifi & Mirhosseini Moghaddam, 2020), dan (4) mengurangi biaya operasional (Capozzoli & Primiceri, 2015). Efisiensi termal pada pengolahan CPO dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain jenis alat pemanas, suhu operasi, kondisi alat pemanas, dan desain sistem alat pemanas (Rastegar et al., 2020; Wang et al., 2019).

Dampak efisiensi termal rendah pada peralatan *economizer* dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi, biaya operasional yang lebih tinggi, dan dampak negatif pada lingkungan akibat emisi gas rumah kaca yang lebih tinggi (Stevanovic et al., 2019; Turki et al., 2023). Dampak efisiensi termal tinggi pada peralatan *economizer* dapat menghasilkan penghematan energi yang signifikan, biaya operasional yang lebih rendah, dan jejak karbon yang berkurang (Ramanath et al., 2023). Selain itu, efisiensi termal tinggi pada peralatan *economizer* memastikan bahwa lebih banyak energi dihasilkan dari gas buang, memaksimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia dan meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan keseluruhan pabrik pengolahan minyak kelapa sawit (Bahri et al., 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Masaji et al. (2023) menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi termal peralatan *economizer* di bagian pra-pemrosesan pengolahan minyak kelapa sawit dapat menghasilkan penghematan energi dan pengurangan biaya yang substansial hingga 10% dapat dicapai. Peningkatan ini berarti penghematan energi dan pengurangan biaya yang signifikan untuk industri pengolahan minyak kelapa sawit mentah.

Dalam industri pengolahan minyak goreng, peran alat perpindahan panas, khususnya *economizer* di *Pre-Treatment* memegang peranan penting. Alat ini berfungsi untuk memanaskan *Crude Palm Oil* (CPO) dengan menggunakan *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO) dari proses Deodorization Section. Pentingnya alat ini terlihat saat CPO dipanaskan di economizer sebelum masuk tahap degumming, di mana suhu CPO harus mencapai 100-110°C untuk optimalisasi reaksi pencampuran dengan H₃PO₄. Mengingat suhu awal CPO dari storage tank yang rendah (40-60°C), peran Economizer sangat krusial. Pre-heater yang dilakukan oleh alat ini juga menjadi kunci untuk mendukung efisiensi waktu produksi dan proses secara keseluruhan. Dalam rangka meningkatkan kinerja alat, evaluasi dilakukan melalui analisis data laju alir dan temperatur pada input dan output.

Peranan penting *economizer* dalam tahap pra-pemanasan untuk persiapan CPO sebelum degumming di suatu *unit refinery* mendorong perlunya evaluasi kinerja alat ini. Fokus penelitian mencakup bagaimana alat ini dapat ditingkatkan agar lebih efektif meningkatkan suhu CPO, khususnya pada tahap degumming yang memerlukan suhu optimal. Selain itu, optimalisasi proses pre-heater juga menjadi pertimbangan utama untuk mendukung efisiensi waktu produksi dan keseluruhan proses. Evaluasi ini diharapkan dapat memberikan solusi konkrit untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi operasional pada *Pre-Treatment Section* di industri pengolahan CPO.

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk memastikan efisiensi termal yang optimal pada tahap pra-pemanasan, penelitian ini juga akan menyoroti potensi fluktuasi suhu dan aliran fluida masuk pada alat economizer. Evaluasi ini akan memberikan pemahaman lebih lanjut terkait stabilitas operasional dan performa konsisten alat tersebut dalam pengolahan CPO dan RBDPO. Sehingga, evaluasi terhadap fluktuasi suhu dan aliran fluida masuk akan menjadi bagian integral dalam penelitian ini untuk mendukung pemahaman menyeluruh terkait kinerja alat di *Pre-Treatment Section*. Selain itu, penelitian ini memberikan kontribusi baru dengan melakukan evaluasi terperinci terhadap alat *economizer* dengan fokus pada efisiensinya dalam industri pengolahan minyak kelapa sawit. Pemantauan dan analisis terhadap fluktuasi suhu dan aliran fluida masuk pada alat ini menjadi nilai tambah yang signifikan. Dengan memahami lebih dalam kinerja economizer, diharapkan penelitian ini dapat memberikan wawasan berharga untuk mengoptimalkan operasi dan memastikan keberlanjutan dalam pabrik pengolahan CPO.

2. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan metode pengamatan langsung dan pengambilan sampel untuk mengevaluasi efisiensi thermal dari alat economizer HE-T521A pada Unit Refinery Plant IV PT XYZ. PT XYZ merupakan pabrik yang memproduksi minyak goreng dari bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO). Selain minyak goreng, PT XYZ juga

memproduksi *Crude Palm Kernel Oil* (CPKO) atau dikenal dengan minyak biji kelapa sawit. Produksi CPO menjadi minyak goreng terdiri dari dua proses utama yaitu Refinery dan fraksinasi. Secara umum, refinery merupakan proses pemisahan berdasarkan titik didih, sedangkan fraksinasi pemisahan berdasarkan titik beku.

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Komponen CPO dan RBDPO sebagai fluida yang mengalir melalui alat Economizer HE-T521A. Economizer HE-T521A adalah alat heat exchanger yang digunakan untuk mentransfer energi panas antara fluida masuk (CPO dan RBDPO) dan fluida keluar.

2.2 Metode

Pengukuran suhu pada aliran masuk dan keluar CPO serta RBDPO menggunakan sensor suhu yang terpasang pada alat Economizer HE-T521A. Pengukuran dilakukan secara berkala dan mencatat nilai suhu setiap periode pengamatan. Aliran fluida masuk (CPO dan RBDPO) diukur menggunakan alat pengukur aliran massa, seperti flow meter.

2.3 Persamaan Matematika

Hasil pengukuran tersebut kemudian dihitung panas sensibel (*sensible heat*) dari komponen CPO dan RBDPO yang masuk dan keluar dari alat *heat exchanger Economizer HE-T521A* didasarkan pada data pengamatan aliran massa dan temperatur. Untuk menghitung panas sensibel CPO menggunakan persamaan:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

dimana m adalah massa aliran fluid (kg/jam), C_p adalah kapasitas panas (kJ/kg.K), ΔT adalah perubahan suhu aliran (K). Perhitungan ΔT sebagai berikut.

$$\Delta T = (T - T_{ref}) \quad (2)$$

Total heat loss Q_{loss} dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$Q_{loss} = Q_{input} - Q_{output} \quad (3)$$

Perhitungan efisiensi thermal (η) menggunakan persamaan berikut ini

$$\eta = \frac{Q_{input}}{Q_{outpu}} \times 100\% \quad (4)$$

dimana Q_{input} adalah energi panas yang masuk ke sistem (kJ/jam), dan Q_{output} adalah energi panas yang keluar dari sistem (kJ/jam).

3. Hasil dan Pembahasan

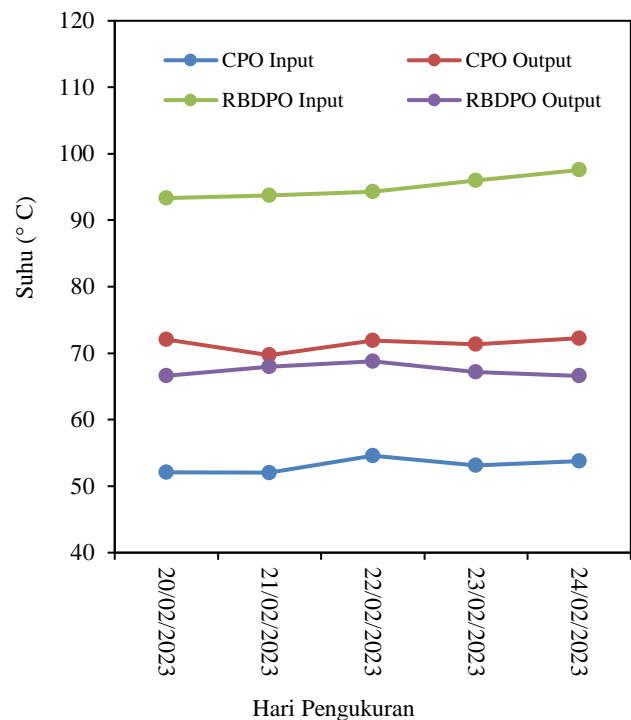
3.1. Pengaruh Temperatur

Temperatur proses dalam industri merupakan faktor penting dalam memahami kinerja dan efisiensi dari suatu peralatan.

Salah satu peralatan yang sering digunakan dalam industri minyak kelapa sawit adalah alat heat exchanger. Alat ini berfungsi untuk mentransfer panas antara dua fluida yang berbeda, dalam hal ini adalah Crude Palm Oil (CPO) dan Refined Bleached and Deodorized Palm Oil (RBDPO).

Pada saat pengolahan CPO dan RBDPO di Economizer HE-T521A, temperatur menjadi faktor kritis yang mempengaruhi kualitas produk akhir. Oleh karena itu, pengawasan dan pengendalian temperatur sangatlah penting. Untuk melakukan hal ini, pengolahan data menjadi langkah awal yang harus dilakukan.

Berdasarkan data yang diperoleh dari lapangan dan ditabulasikan dalam bentuk grafik sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1. Hasil pada Gambar 1 menunjukkan adanya fluktuasi pada temperatur input dan output dari kedua jenis minyak tersebut. Temperatur input CPO berkisar antara 52,04°C hingga 54,58°C, sedangkan temperatur output CPO berkisar antara 69,7°C hingga 72,26°C. Selain itu, temperatur input RBDPO mengalami fluktuasi antara 93,33°C hingga 97,56°C, sedangkan temperatur output RBDPO berkisar antara 66,64°C hingga 68,78°C.



Gambar 1. Temperatur Input dan Output di Economizer HE-T521A

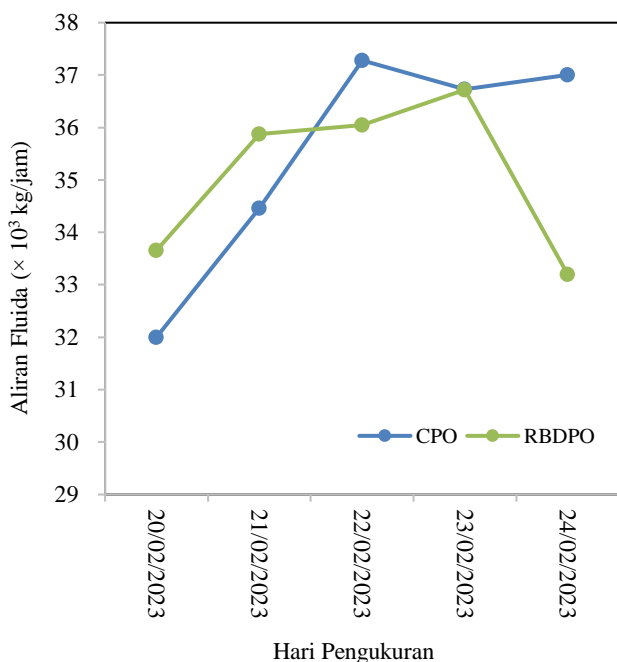
Fluktuasi temperatur pada input dan output dari kedua jenis minyak, CPO dan RBDPO, dalam proses pengolahan menggunakan Economizer HE-T521A sebagai akibat proses perpindahan panas (Omidi et al., 2017). Pada heat exchanger, panas dialirkan dari fluida yang memiliki suhu lebih tinggi ke fluida yang memiliki suhu lebih rendah. Dalam konteks ini, CPO dan RBDPO bertindak sebagai

fluida yang mentransfer panas.

Fluktuasi temperatur terjadi sebagai respons terhadap perubahan variabel operasional seperti laju aliran fluida, suhu fluida pemanas (dalam hal ini, RBDPO), dan karakteristik fisik fluida itu sendiri (Arumsari & Ginting, 2023). Proses perpindahan panas ini terkait erat dengan hukum dasar konveksi panas di mana intensitas perpindahan panas bergantung pada perbedaan suhu antara dua fluida dan laju perpindahan massa (Abu-Hamdeh & Salilih, 2021; Mohammed et al., 2021).

3.2. Pengaruh Massa Aliran Input

Fluktuasi temperatur tersebut dapat disebabkan oleh perubahan aliran fluida. Dari data Gambar 2, aliran fluida yang diperoleh menunjukkan fluktuasi aliran massa RBDPO dan CPO setiap harinya. Pada hari pertama pengukuran, aliran massa RBDPO yang masuk ke *heat exchanger* adalah sebesar 33.659,98 kg/jam, sementara aliran massa CPO adalah sebesar 32.000 kg/jam. Perlu dicatat bahwa angka-angka ini dapat bervariasi tergantung pada kondisi operasional dan kebutuhan produksi pada setiap hari.



Gambar 2. Aliran Fluida Input di *Economizer* HE-T521A

Selanjutnya, pada hari keempat pengukuran, aliran massa RBDPO mengalami peningkatan signifikan menjadi 36.720 kg/jam. Hal ini mungkin disebabkan oleh peningkatan produksi RBDPO atau perubahan dalam parameter operasional. Peningkatan aliran massa RBDPO ini perlu diperhatikan karena dapat mempengaruhi kinerja *heat exchanger* dan transfer panas yang efisien antara RBDPO dan CPO. Namun, pada hari kelima pengukuran, aliran massa RBDPO mengalami penurunan menjadi 33.200 kg/jam. Penurunan ini bisa menjadi hasil dari perubahan

dalam kondisi operasional atau faktor-faktor lain yang memengaruhi aliran massa fluida. Penting untuk mencatat fluktuasi ini dan memahami penyebabnya agar tindakan korektif dapat diambil jika diperlukan.

Sementara itu, aliran massa CPO juga mengalami fluktuasi dalam rentang waktu yang sama. Pada hari keempat pengukuran, aliran massa CPO mengalami kenaikan menjadi 37.280 kg/jam. Peningkatan ini bisa jadi disebabkan oleh peningkatan produksi CPO atau perubahan dalam sistem pengolahan. Namun, pada hari kelima, aliran massa CPO mengalami penurunan menjadi 37.000 kg/jam. Hal ini menunjukkan bahwa fluktuasi aliran massa CPO juga dapat terjadi dan perlu dipantau dengan cermat.

Pada pengukuran hari pertama, aliran massa RBDPO adalah 33.659,98 kg/jam dan aliran massa CPO adalah 32.000 kg/jam. Selanjutnya, terjadi fluktuasi aliran massa di kedua fluida selama beberapa hari. Fluktuasi aliran massa ini dapat mempengaruhi transfer panas yang terjadi dalam *heat exchanger*. Aliran massa yang lebih tinggi cenderung meningkatkan efisiensi transfer panas, karena semakin banyak fluida yang mengalir melalui *heat exchanger*, semakin banyak panas yang dapat ditransfer antara fluida tersebut (Raghulnath et al., 2020). Sebaliknya, fluktuasi yang signifikan dalam aliran massa dapat mengganggu transfer panas dan mengurangi efisiensi *heat exchanger* (Kasmir & Joshi, 2015).

Pada *heat exchanger* dengan aliran RBDPO mengalir di *tube* dan aliran CPO mengalir di *shell*, perubahan aliran massa tersebut dapat berdampak pada temperatur keluar dari *heat exchanger*. Misalnya, jika aliran massa RBDPO mengalami peningkatan, ini dapat meningkatkan transfer panas di dalam *tube* dan menyebabkan peningkatan temperatur keluar RBDPO. Sebaliknya, jika aliran massa RBDPO mengalami penurunan, transfer panas di *tube* dapat berkurang dan temperatur keluar RBDPO dapat menurun.

Demikian pula, fluktuasi aliran massa CPO juga dapat mempengaruhi transfer panas di dalam *shell heat exchanger* (Li et al., 2020). Jika aliran massa CPO mengalami peningkatan, transfer panas di *shell* dapat meningkat dan temperatur keluar CPO dapat naik. Namun, jika aliran massa CPO mengalami penurunan, transfer panas di *shell* dapat berkurang dan temperatur keluar CPO dapat turun.

Oleh karena itu, perubahan aliran massa RBDPO dan CPO dapat memiliki dampak langsung terhadap transfer panas dan temperatur keluar dari *heat exchanger*. Penting untuk memantau dan mempertahankan stabilitas aliran massa untuk memastikan efisiensi transfer panas yang konsisten dalam *heat exchanger*. Jika fluktuasi aliran massa terlalu besar atau tidak stabil, dapat mengganggu kinerja *heat exchanger* dan mengurangi efisiensi transfer panas.

3.3. Panas Sensibel Aliran Input dan Output *Economizer* HE-T521A

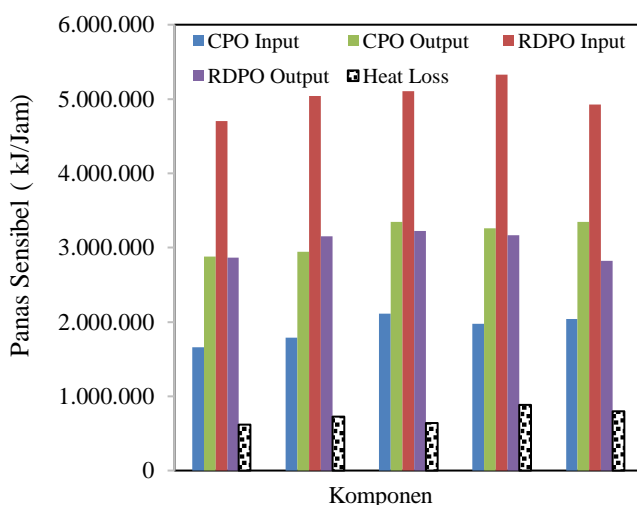
Berdasarkan hasil perhitungan dari persamaan 1, 2, dan 3 dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan perhitungan cara yang sama, maka didapatkan Gambar 3. Pada Gambar 3 terlihat bahwa panas sensibel aliran masuk dan keluar CPO dan

RBDPO pada *Economizer* HE-T521A mengalami fluktuasi nilai panas sensibel. Fluktuasi ini disebabkan oleh perubahan aliran massa, perubahan suhu masuk dan keluar, serta variasi komposisi dan sifat termal fluida. Perubahan

aliran massa mempengaruhi jumlah energi panas yang ditransfer antara fluida. Perbedaan suhu masuk dan keluar juga mempengaruhi perubahan energi panas yang ditransfer.

Tabel 1. Perhitungan *Sensible Heat* aliran input dan output *Economizer* HE-T521A pada Tanggal 20/02/2023

Komponen	Massa (Kg/jam)	Cp (kJ/Kg.K)	ΔT (K)	Q (kJ/jam)
Panas Sensibel CPO Input				
Neutral Oil	30.382,56	1,96	27,12	1.614.974,57
FFA	1.524,80	0,88	27,12	36.522,60
Air	76,80	4,18	27,12	8.717,21
Fe	15,84	0,43	27,12	186,14
Total	32.000			1.660.400,52
Panas Sensibel RBDPO Input				
Neutral Oil	33.630,72	2,04	68,33	4.697.085,04
FFA	20,53	2,10	68,33	2.949,98
Air	8,74	4,21	68,33	2.509,92
Total	33.659,98			4.702.544,94
Total Q Input				6.362.945,45
Panas Sensibel CPO output				
Neutral Oil	30.382,56	1,96	47,08	2.803.576,80
FFA	1.524,80	0,88	47,08	63.402,79
Air	76,80	4,18	47,08	15.132,97
Fe	15,84	0,43	47,08	323,13
Total	32.000			2.882.435,70
Panas Sensibel RBDPO Output				
Neutral Oil	33.630,72	2,04	41,64	2.862.382,86
FFA	20,53	2,10	41,64	1.797,70
Air	8,74	4,21	41,64	1.529,53
Total	33.659,98			2.865.710,10
Total Q Output				5.748.145,80
Heat Loss				614.799,65



Gambar 3. Hasil Perhitungan Panas Sensibel pada

Economizer HE-T521A

Variasi komposisi dan sifat termal fluida dapat mengubah kapasitas panas spesifik dan konduktivitas termalnya. Oleh karena itu, penting untuk secara teratur memantau dan menganalisis data panas sensibel yang terkait dengan aliran masuk dan keluar CPO dan RBDPO pada *heat exchanger* untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang kinerja alat dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi fluktuasi nilai tersebut.

3.3 Efisiensi Thermal *Economizer* HE-T521A

Perhitungan efisiensi termal pada alat *Economizer* HE-T521A sangat penting untuk mengevaluasi kinerja heat exchanger tersebut. Efisiensi termal menggambarkan seberapa efektif alat tersebut dalam mentransfer energi panas antara fluida yang melalui proses aliran. Efisiensi thermal digunakan untuk mengevaluasi keefektifan desain

alat, mengidentifikasi masalah atau kekurangan yang mungkin ada, dan merencanakan perbaikan atau peningkatan yang diperlukan. Perhitungan efisiensi thermal menggunakan persamaan (4).

Hasil perhitungan efisiensi thermal dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi Thermal Economizer HE-T521A

Tanggal Pengamatan	Efisiensi Thermal (%)
Desain	94,00
20 Februari 2023	90,34
21 Februari 2023	89,33
22 Februari 2023	91,09
23 Februari 2023	87,89
24 Februari 2023	88,58

Efisiensi thermal adalah parameter penting dalam mengevaluasi kinerja sebuah alat *heat exchanger*, termasuk alat *Economizer* HE-T521A. Dalam desainnya, alat ini memiliki efisiensi thermal yang ditetapkan sebesar 94%. Namun, berdasarkan data hasil pengamatan selama 5 hari, nilai efisiensi thermal rata-rata yang tercatat sebesar 89,45%.

Pada tanggal 22 Februari 2023, alat *Economizer* HE-T521A mencapai nilai efisiensi thermal tertinggi, yaitu 91,09%. Hal ini menunjukkan bahwa pada hari tersebut, alat mampu mentransfer energi panas secara lebih efisien antara fluida yang melalui proses aliran. Peningkatan efisiensi ini bisa jadi disebabkan oleh penyesuaian operasional atau perbaikan yang dilakukan pada alat.

Namun, pada tanggal 24 Februari 2023, alat mencatat nilai efisiensi thermal terendah sebesar 88,58%. Meskipun masih berada di atas 88% yang dapat dianggap baik, nilai ini tetap berada di bawah desain efisiensi thermal. Perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi penurunan efisiensi pada hari tersebut.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Masji et al., (2023) terjadi peningkatan efisiensi dari 77% menjadi 84,5% setelah penambahan alat economizer dalam proses pengolahan crude palm oil. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi thermal yang dihasilkan berkisar 88,58 % - 94,00%. Hal ini mengindikasikan bahwa economizer efektif dalam memanfaatkan panas yang terbuang.

Berdasarkan data tersebut, secara umum, alat *Economizer* HE-T521A menunjukkan kinerja yang baik dengan efisiensi thermal rata-rata 89,45%. Meskipun terdapat fluktuasi dalam nilai efisiensi thermal dari hari ke hari, alat ini masih mampu mentransfer energi panas secara efektif antara fluida yang mengalir. Namun, perlu dicatat bahwa evaluasi dan pemantauan terus-menerus diperlukan untuk memastikan kinerja optimal alat *heat exchanger* ini. Jika ditemukan nilai efisiensi yang berada di bawah desain yang

ditetapkan, langkah-langkah perbaikan atau penyesuaian operasional dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi thermal alat secara keseluruhan.

4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, analisis data menunjukkan fluktuasi suhu dan aliran fluida alat *Economizer* HE-T521A. Meskipun efisiensi thermal alat masih relatif baik, yaitu 89,45%, terdapat fluktuasi nilai di bawah target desain 94%. Jumlah energi panas yang hilang selama proses transfer panas mencapai 614.799,65 hingga 884.805,98 kJ/Jam. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan, evaluasi, dan perbaikan untuk mengoptimalkan kinerja alat, mengurangi fluktuasi, dan mendekati nilai efisiensi thermal yang diharapkan. Dari data efisiensi thermal tersebut perlu dilakukan kajian lebih lanjut terhadap terhadap analisis ekonomi terhadap potensi penghematan energi dan peningkatan efisiensi. Upaya ini diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap efisiensi operasional industri pengolahan minyak kelapa sawit, sekaligus mendukung keberlanjutan lingkungan melalui pengurangan konsumsi energi.

Ucapan Terima kasih

Para penulis mengucapkan terimakasih PT. Sinar Alam Permai atas dukungannya atas terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abu-Hamdeh, N. H., & Salilih, E. M. (2021). Numerical modelling of a parallel flow heat exchanger with two-phase heat transfer process. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 120, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2020.105005>
- Alif Gita Arumsari, & Petrus Junake Ginting. (2023). Analysis of Heat Transfer Coefficient of Shell and Tube on Heat Exchanger Using Heat Transfer Research Inch (HTRI) Software. *Formosa Journal of Sustainable Research*, 2(5), 1175–1184. <https://doi.org/10.55927/fjsr.v2i5.4271>
- Bahri, S., Muhammad Jalil, S., Amri, A., & Ilham, M. (2022). Sterilizer Reliability Analysis Using Reliability Block Diagram Based on Failure Identification Through Fault Tree Analysis. *International Journal of Engineering, Science & Information Technology (IJESTY)*, 2(1), 38–44. <https://doi.org/10.52088/ijesty.v1i1.190>
- Capozzoli, A., & Primiceri, G. (2015). Cooling systems in data centers: State of art and emerging technologies. *Energy Procedia*, 83, 484–493. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.168>
- Deymi-Dashtebayaz, M., Valipour Namanlo, S., & Arabkoohsar, A. (2019). Simultaneous use of air-side

- and water-side economizers with the air source heat pump in a data center for cooling and heating production. *Applied Thermal Engineering*, 161, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114133>
- Ezechi, E. H., & Muda, K. (2019). Overview of trends in crude palm oil production and economic impact in Malaysia. *Sriwijaya Journal of Environment*, 4(1), 19–26. <https://doi.org/10.22135/sje.2019.4.1.19-26>
- Ibrahim, M. D., Najamudin, S. A., & Lam, S. S. (2022). Steam System Optimization at Palm Oil Mill: Case Study in Sabah, Malaysia. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 15(2), 87–97. <https://doi.org/10.22094/joie.2022.1951662.1935>
- Kaewmai, R., H-Kittikun, A., Suksaroj, C., & Musikavong, C. (2013). Alternative technologies for the reduction of greenhouse gas emissions from palm oil mills in Thailand. *Environmental Science and Technology*, 47(21), 12417–12425. <https://doi.org/10.1021/es4020585>
- Kasmir, J., & Joshi, S. M. (2015). Experimental study of a shell and tube heat exchanger for performance enhancement. *2015 International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSD)*, 1–3. <https://doi.org/10.1109/ICTSD.2015.7095888>
- Kurnia, J. C., Jangam, S. V., Akhtar, S., Sasmito, A. P., & Mujumdar, A. S. (2016). Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: A review. In *Biofuel Research Journal*. 3(1), 332–346. <https://doi.org/10.18331/BRJ2016.3.1.3>
- Li, N., Chen, J., Cheng, T., Klemeš, J. J., Varbanov, P. S., Wang, Q., Yang, W., Liu, X., & Zeng, M. (2020). Analysing thermal-hydraulic performance and energy efficiency of shell-and-tube heat exchangers with longitudinal flow based on experiment and numerical simulation. *Energy*, 202, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117757>
- Masaji, M., Aisha, N., & Soeprijanto, S. (2023). Efisiensi Boiler dengan Penambahan Alat Economizer Sebagai Pre-Heater Steam. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), 155–160.
- Mohammed, A. K., Majeed, M. H., & Mohammed, A. Q. (2021). The Effect of Mass Flow Rate and Heat Flux on Vertical Two-Phase Flow Regimes in a Small Diameter Tube. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1105(1), 1–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1105/1/012067>
- Omidi, M., Farhadi, M., & Jafari, M. (2017). A comprehensive review on double pipe heat exchangers. In *Applied Thermal Engineering*, 110, 1075–1090. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.09.027>
- Raghunath, D., Saravanan, K., Lakshmanan, P., Kuma, M. R., & Hariharan, K. B. (2020). Performance analysis of heat transfer parameters in shell and tube heat exchanger with circumferential turbulator. *Materials Today: Proceedings*, 37(Part 2), 3721–3724. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.189>
- Ramanath, T., Foo, D. C. Y., Tan, R. R., & Tan, J. (2023). Integrated enterprise input-output and carbon emission pinch analysis for carbon intensity reduction in edible oil refinery. *Chemical Engineering Research and Design*, 193, 826–842. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.03.045>
- Rastegar, S., Kargarsharifabad, H., Rahbar, N., & Shafii, M. B. (2020). Distilled water production with combination of solar still and thermosyphon heat pipe heat exchanger coupled with indirect water bath heater – Experimental study and thermoeconomic analysis. *Applied Thermal Engineering*, 176, 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.115437>
- Stevanovic, V. D., Petrovic, M. M., Wala, T., Milivojevic, S., Ilic, M., & Muszynski, S. (2019). Efficiency and power upgrade at the aged lignite-fired power plant by flue gas waste heat utilization: High pressure versus low pressure economizer installation. *Energy*, 187, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.115980>
- Syaichurrozi, I., Jayanudin, J., Nurwindya Sari, L., & Putri Apriantika, A. (2022). Pengaruh Dosis Alum pada Proses Koagulasi terhadap Penurunan Polutan pada Limbah Palm Oil Mill Effluent: Analisa Eksperimen dan Kinetika Effect of Alum Dose in the Coagulation Process for Decreasing the Pollutant in the Palm Oil Mill Effluent: Experimental and Kinetic Analysis. *Eksergi*, 19(3), 91–96.
- Turki, A. F., Abu-Hamdeh, N. H., Milyani, A. H., AlQemlas, T., & Salilih, E. M. (2023). Develop a novel PID controller for an improved economizer in the air handling unit to cut the energy consumption for an office building in Saudi Arabia via Genetic Algorithm approach. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 148, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2023.104813>
- Wang, C., He, B., Yan, L., Pei, X., & Chen, S. (2014). Thermodynamic analysis of a low-pressure economizer-based waste heat recovery system for a coal-fired power plant. *Energy*, 65, 80–90. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.11.084>
- Wang, P., Jiang, J., Li, S., Luo, X., Wang, S., & Zhao, W. (2019). An investigation of influence factor including different tube bundles on inclined elliptical fin-tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 142, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118448>
- Zarifi, S., & Mirhosseini Moghaddam, M. (2020). Utilizing finned tube economizer for extending the thermal power rate of TEG CHP system. *Energy*, 202, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117796>