

EVALUASI KINERJA *PLATE HEAT EXCHANGER* DI *REFINERY PLANT* INDUSTRI MINYAK GORENG

**Agung Kurnia Yahya ^{*1}, Rivaldo Romigo ¹, Puji Rahayu ², Apsari Puspita Aini ¹,
Hasnah Ulia ¹**

¹Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Bungo Pasang - Tabing, Padang, 25171, Indonesia

²Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Serang, 42166, Indonesia

*email : agungkurniayahya@gmail.com

Abstrak

Plate Heat Exchanger (PHE) merupakan salah satu elemen yang mempunyai peran penting dalam efisiensi energi di PT. XYZ. Di PT. XYZ terdapat permasalahan pada alat PHE, di mana laju alir fluida panas pada alat tersebut cenderung mengalami penurunan tiap waktunya, hal tersebut dapat menyebabkan perpindahan panas antara fluida panas dan fluida dingin tidak optimal sehingga terjadi penurunan kinerja pada alat. Kinerja alat PHE dapat ditinjau dari efektivitasnya, jika kinerja PHE menurun maka dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi sehingga biaya yang dikeluarkan juga meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung efektivitas PHE tipe 605A yang digunakan sebagai penukar panas antara crude palm oil dan refined bleached deodorized palm oil di PT. XYZ dan didapatkan efektivitas pada saat ini berkisar 81,77% - 86,13%. Tetapi efektivitas PHE mengalami penurunan tiap waktunya dan diprediksi akan menurun menjadi 75% pada hari ke-11. Rekomendasi yang dapat diberikan dalam penelitian ini yaitu perawatan dan pembersihan rutin, monitoring kinerja plate heat exchanger secara real-time, serta kaji ulang beban kerja sistem heat plate exchanger

Kata Kunci : *Efektivitas, Perpindahan Panas, Plate Heat Exchanger*

PERFORMANCE EVALUATION OF *PLATE HEAT EXCHANGER* IN *REFINERY PLANT* OF *COOKING OIL* INDUSTRY

Abstract

Plate Heat Exchanger (PHE) is an element that has an important role in energy efficiency in PT. XYZ. At PT. XYZ there is a problem with the PHE device, where the flow rate of the hot fluid in the device tends to decrease over time, this can cause the heat transfer between the hot fluid and the cold fluid to be sub-optimal resulting in a decrease in the performance of the device. The performance of PHE equipment can be seen from its effectiveness, if PHE performance decreases it can cause an increase in energy consumption so that the cost incurred also increases. This study aims to calculate the effectiveness of PHE type 605A used as a heat exchanger between crude palm oil and bleached palm oil refined at PT. XYZ and current effectiveness is around 81.77% - 86.13%. However, the efficacy of PHE decreases

over time and is expected to decrease to 75% on day 11. Recommendations that can be given in this study are routine maintenance and cleaning, real-time monitoring of the performance of the plate heat exchanger, and a review of the workload of the plate heat exchanger system.

Keywords: *Effectiveness, Heat Transfer, Plate Heat Exchanger*

PENDAHULUAN

Heat exchanger merupakan salah satu elemen yang mempunyai peran penting dalam efisiensi energi di industri, khususnya industri *refinery* minyak goreng berbasis kelapa sawit. *Heat exchanger* berfungsi untuk menukarkan panas dengan cara mendistribusikan energi panas antar dua fluida atau lebih melalui kontak langsung maupun kontak tidak langsung (Walikrom et al., 2018). Kontak langsung fluida pada *heat exchanger* terjadi dimana proses perpindahan panas antar dua atau lebih fluida tersebut disertai dengan proses pencampuran dari sejumlah massa fluida – fluida dan diikuti perubahan fase dari salah satu fluidanya. Sedangkan kontak tidak langsung fluida pada *heat exchanger* digunakan lapisan dinding untuk memisahkan kedua atau lebih fluida yang mempunyai perbedaan temperatur tersebut.

Alat *heat exchanger* didesain dan spesifikasinya disesuaikan dengan kebutuhan agar fluida yang dialirkan tidak menyebabkan masalah pada alat. Permasalahan yang dapat ditimbulkan dari fluida yang tidak sesuai spesifikasi adalah menyebabkan *fouling* dan membentuk *scale* sehingga akan menurunkan kinerja *heat exchanger* (Coniwanti et al., 2019).

Salah satu tipe alat penukar panas yang digunakan pada *refinery plant* di PT. XYZ adalah *Plate heat exchanger* (PHE).

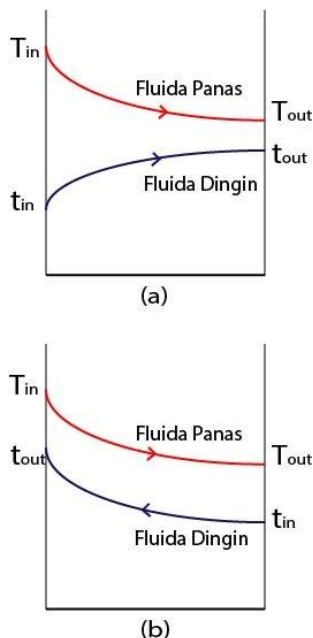
PHE digunakan pada proses *pre-treatment* untuk memanaskan *crude palm oil* (CPO) dengan memanfaatkan *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) sebagai fluida panas. Pada PHE terdapat beberapa plat berbahan logam yang tersusun dalam gasket, yang merupakan tempat terjadinya kontak tidak langsung antara fluida panas dan fluida dingin sehingga mengalami transfer panas. Tujuan dari pertukaran panas tersebut untuk menghasilkan temperatur CPO yang sesuai untuk proses *degumming* dan *bleaching* (Mahmud, 2019).

Kelebihan dari *heat exchanger* jenis PHE adalah bagian plat yang mudah dilepas dan dipisahkan sehingga dapat mempermudah dalam melakukan perawatan terhadap komponen-komponennya. Kelebihan lainnya adalah koefisien transfer panas dari PHE tinggi, laju korosi rendah, dan surface area untuk transfer panas relatif kecil jika dibandingkan dengan *heat exchanger* jenis *shell and tube* maupun *double pipes* yang mana hal tersebut berarti meminimalkan kebutuhan ruang dari *heat exchanger* tersebut.

Terdapat dua jenis aliran pertukaran panas pada *heat exchanger* yaitu pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah (*counter current*) dan aliran searah (*co-current*). Pada umumnya jenis aliran pertukaran panas yang sering digunakan

adalah aliran *counter current*, yang mana pada aliran ini nilai koefisien perpindahan panasnya lebih besar dibandingkan pada aliran *co-current* (Syaichurrozi et al., 2014).

Seiring dengan bertambahnya usia alat PHE dapat mengakibatkan kinerja alat tersebut menurun. Dampak yang dapat ditimbulkan dengan menurunnya kinerja PHE dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi sehingga biaya yang dikeluarkan juga meningkat. Kinerja alat HE ditinjau dari efektivitas yang dipengaruhi oleh perpindahan panas yang terjadi di alat tersebut. Efektivitas pada HE dapat diartikan sebagai perbandingan antara nilai laju perpindahan panas aktual dengan nilai laju perpindahan panas maksimal dari HE (Robiyanyusra et al., 2021).



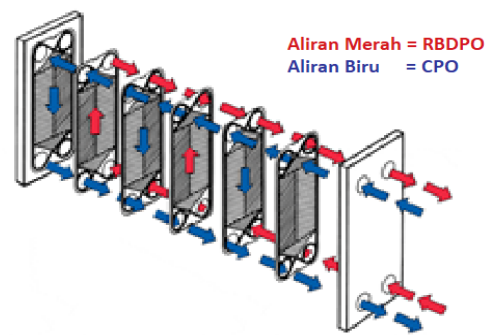
Gambar 1. Profil Temperatur Aliran Pertukaran Panas : (a) *Co-Current* dan (b) *Counter Current*

PHE yang digunakan di PT. XYZ sudah digunakan selama 2 tahun. Terdapat

permasalahan dalam operasi PHE di PT. XYZ, di mana laju alir RBDPO pada alat tersebut cenderung mengalami penurunan tiap waktunya. Penurunan laju alir tersebut akan menyebabkan perpindahan panas antara RBDPO dan CPO kurang optimal sehingga mempengaruhi kinerja dari PHE. Di PT. XYZ belum pernah dilakukan analisa efektivitas untuk evaluasi kinerja PHE. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja PHE di PT. XYZ dengan cara menganalisa efektivitasnya. Dari hasil evaluasi diharapkan dapat dijadikan rekomendasi dalam perawatan untuk menjaga kinerja PHE.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan di PT. XYZ, yang merupakan perusahaan yang bergerak di bidang *refinery* minyak sawit. Jenis HE yang dievaluasi adalah *Plate Heat Exchanger 605A* dengan skema arah aliran *counter current* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2. Fluida panas yang memasuki alat PHE berupa RBDPO dari hasil proses produksi sedangkan fluida dingin berupa CPO yang mana sebagai bahan baku produksi minyak goreng sawit.



Gambar 2. Skema Kerja *Plate Heat Exchanger* Dengan Aliran *Counter Current*

Data dari spesifikasi alat PHE pada PT. XYZ adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Alat *Plate Heat Exchanger* di PT. XYZ

Unit Data	Spesifikasi
Total Heat Transfer Area	1459,62 m ²
Number of s	1.437
Thicknes	5 x 10 ⁻⁴ m

Secara garis besar penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 3 yang mulai dari pengumpulan data, perhitungan dan analisa data, hingga kesimpulan. Perhitungan efektivitas PHE dilakukan memakai metode *Number of Transfer Units* (NTU). Secara garis besar tahapan perhitungan kinerja PHE terdiri dari perhitungan neraca panas, perhitungan *Log Mean Temperature Difference* (LMTD), perhitungan koefisien perpindahan panas keseluruhan, perhitungan laju kapasitas panas, dan perhitungan efektivitas panas dengan metode NTU.

Perhitungan Neraca Panas

Panas yang diterima fluida dingin untuk meningkatkan temperaturnya besarnya sama dengan panas yang dilepaskan fluida panas untuk menurunkan temperaturnya. Sehingga dalam perhitungan PHE digunakan persamaan (1) untuk mengetahui neraca energi pada alat (D Q Kern, 1983).

$$Q_{\text{panas}} = Q_{\text{dingin}} = Q_{\text{total}} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan panas

\dot{m} = Laju aliran massa

c_p = *Heat capacity*

ΔT = Perbedaan temperatur

Perhitungan Log Mean Temperature Difference (LMTD)

Untuk menghitung LMTD aliran *counter current* maka digunakan persamaan (3) (D Q Kern, 1983).

$$LMTD = \frac{(T_{in} - t_{out}) - (T_{out} - t_{in})}{\ln \frac{(T_{in} - t_{out})}{(T_{out} - t_{in})}} \dots\dots (3)$$

Keterangan :

T_{in} = Temperatur masuk RBDPO

T_{out} = Temperatur keluar RBDPO

t_{in} = Temperatur masuk CPO

t_{out} = Temperatur keluar CPO

Perhitungan Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan (U)

$$U = \frac{Q}{A \times LMTD} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

Q = Laju perpindahan panas

A = Luas permukaan

LMTD = Perbedaan temperatur rata-rata (D Q Kern, 1983)

Perhitungan Laju Kapasitas Panas (C)

$$C_h = \dot{m}_{\text{panas}} \times C_{p \text{ panas}} \dots\dots\dots (5)$$

$$C_c = \dot{m}_{\text{dingin}} \times C_{p \text{ dingin}} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

\dot{m} = Laju aliran massa

c_p = Heat capacity

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan :

C_{min} = Laju kapasitas panas minimal

C_{max} = Laju kapasitas panas maksimal

(D Q Kern, 1983)

Perhitungan Number of Transfer Units (NTU)

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}} \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan :

U = Koefisien perpindahan panas total

A = Luas permukaan

C_{\min} = Laju kapasitas panas minimal
(D Q Kern, 1983)

Perhitungan Efektivitas Heat Exchanger (\mathcal{E})

Pada perhitungan efektivitas PHE dengan aliran berlawanan arah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (9).

$$\mathcal{E} = \frac{1 - \exp[-NTU(1-C)]}{1 - C \exp[-NTU(1-C)]} \times 100\% \dots (9)$$

(Shokouhmand & Hasanpour, 2020)

Tabel 2. Data Hasil Pengamatan

Hari ke -	RBDPO				CPO			
	T_{in} (°C)	T_{out} (°C)	\dot{m} (kg/s)	c_{ph} (Kj/kg°C)	t_{in} (°C)	t_{out} (°C)	\dot{m} (kg/s)	c_{pc} (Kj/kg°C)
1	95	61	40,0	3.920	46	82	40,7	1.969
2	97	59	37,4	4.291	45	83	40,4	1.969
3	101	57	38,4	5.415	44	84	40,7	1.969
4	103	59	38,5	5.381	45	85	40,3	1.973
5	104	59	38,3	5.474	45	85	40,3	1.973

Tabel 3. Data Hasil Perhitungan

Hari ke -	C_c (Kj/°C)	C_h (Kj/°C)	C (Kj/°C)	LMTD (°C)	Q (Kj/s)	U (Kj/m ² °C)	NTU	\mathcal{E} (%)
1	80,073	156,691	0,51	12,61	2882,62	0,16	2,85	86,13
2	79,471	160,436	0,49	13,62	3019,90	0,15	2,78	85,95
3	80,127	207,876	0,38	16,65	3205,09	0,13	2,40	84,60
4	79,413	207,169	0,38	17,65	3176,53	0,12	2,26	83,15
5	79,413	209,685	0,37	18,66	3176,53	0,12	2,14	81,77

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengamatan pada PHE disajikan pada tabel 2 . Dimana pada tabel tersebut memuat informasi temperatur masuk dan keluar CPO maupun RBDPO serta laju aliran massa CPO maupun RBDPO. Sedangkan data hasil perhitungan disajikan pada tabel 3 yang meliputi nilai laju perpindahan panas, nilai laju kapasitas panas, beda temperatur rata-rata logaritmik, koefisien perpindahan panas keseluruhan, nilai NTU, dan nilai efektivitas PHE.

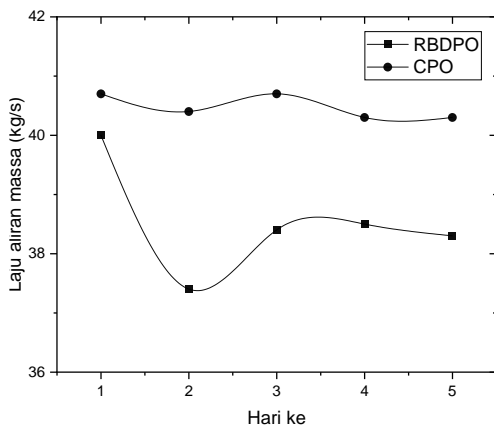
Efektivitas menjadi salah satu acuan dari kinerja suatu alat pada pabrik yang

dinyatakan dalam %, dimana apabila efektivitas suatu alat menurun menandakan menurunnya kinerja alat tersebut. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap efektivitas *heat exchanger* meliputi penurunan tekanan aliran fluida, faktor pengotor, laju perpindahan panas, dan sebagainya (Nandiati et al., 2019) .

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa terjadi penurunan laju aliran massa fluida pada alat PHE. Hal tersebut dapat diakibatkan terjadinya *fouling* atau pengotoran pada saluran fluida pada alat PHE. *Fouling* tersebut dapat memperbesar friksi antara fluida dengan lapisan dinding

pada alat yang dilewati fluida dan akan menyebabkan penurunan tekanan sehingga laju aliran fluida semakin menurun (Yahya *et al.*, 2022). Dengan menurunnya laju aliran fluida akan berpengaruh terhadap proses transfer panas antara fluida panas dengan fluida dingin.

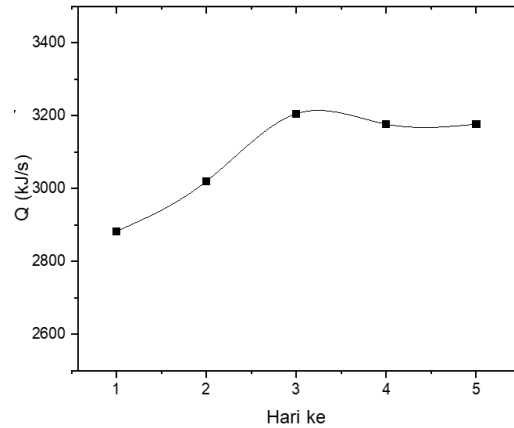
Pada penelitian yang pernah dilakukan, dengan meningkatnya laju alir fluida maka menyebabkan nilai laju perpindahan panasnya meningkat (Rahmadi & Putra, 2023). Pada penelitian ini, yang ditunjukkan pada gambar 4, laju perpindahan panas pada PHE mengalami peningkatan. Hal tersebut berbanding terbalik dengan teori yang menjelaskan laju alir berbanding lurus dengan laju perpindahan panas. Hal ini terjadi karena temperatur fluida masuk meningkat tiap waktu dan itu berarti meningkatkan selisih temperatur antara fluida masuk dan keluar. Semakin besar selisih temperatur antar fluida menyebabkan laju perpindahan panas meningkat (Soegijarto & Arsana, 2021).



Gambar 3. Laju Aliran Fluida Pada *Plate Heat Exchanger*

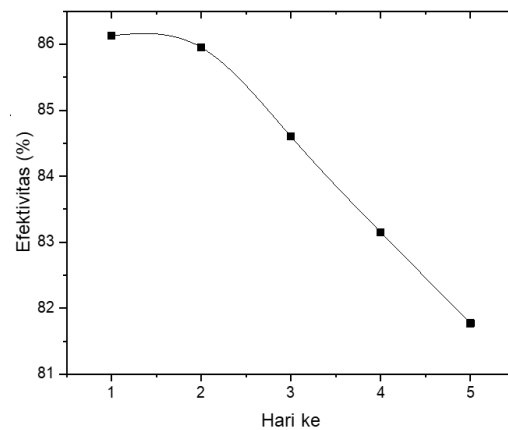
Evaluasi alat PHE di PT. XYZ bertujuan untuk mencegah penurunan

kinerja di bawah standar. Alat PHE di PT. XYZ telah digunakan selama 2 tahun dan batas efektivitas pada alat PHE tidak boleh kurang dari 75%. Jika efektivitas kurang dari standar maka akan mempengaruhi proses produksi di PT. XYZ.



Gambar 4. Laju Perpindahan Panas Pada *Plate Heat Exchanger*

Efektivitas PHE di PT. XYZ pada saat ini masih memenuhi standar yaitu 81-87%. Tetapi cenderung mengalami penurunan efektivitas tiap waktunya seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Pada penelitian hari pertama terjadi penurunan yang tidak terlalu signifikan, tetapi pada hari ke-2 sampai ke-5 terlihat adanya penurunan efektivitas secara signifikan.



Gambar 5. Efektivitas *Plate Heat Exchanger*

Menurut Ekadewi Anggraini Handoyo, (2000), efektivitas alat *heat exchanger* dipengaruhi oleh laju alir masing-masing fluida. Penurunan efektivitas pada alat PHE sejalan dengan penurunan laju alir fluida. Penggunaan fluida berupa CPO dan RBDPO dapat menyebabkan *fouling* pada saluran aliran PHE, hal tersebut berpengaruh terhadap efektivitas alat PHE.

Pada gambar 5 jika dibuat persamaan garis linier akan didapatkan :

$$y = -1.152x + 87.776 \dots\dots\dots (10)$$

dengan nilai $R^2 = 0.9559$. Dari persamaan (10) dapat digunakan untuk memprediksi penurunan efektivitas PHE dan didapatkan efektivitas PHE mengalami penurunan menjadi 75% pada hari ke-11.

Untuk meningkatkan kinerja PHE di PT. XYZ, berikut adalah beberapa rekomendasi yang dapat dipertimbangkan:

1. Perawatan dan Pembersihan Rutin

Perawatan rutin dan pembersihan pada *plate heat exchanger* secara teratur untuk menghindari akumulasi *fouling* dan *scaling* pada permukaannya. Pembersihan yang tepat waktu akan mempertahankan efisiensi perpindahan panas dan mengurangi konsumsi energi (Hou et al., 2017; Sudarni, 2019).

Pada hasil evaluasi menunjukkan bahwa hari ke-11 efektivitas PHE di PT. XYZ dipredikasi mengalami penurunan menjadi 75%, sehingga harus dilakukan pembersihan pada permukaan saluran fluida pada alat PHE. Pembersihan alat PHE dapat dilakukan dengan cara mekanis, kimia, ultrasonik, maupun *Steam-In-Place* (Christian, 2003; Kieser et

al., 2011; Kishore et al., 2018; Müller-Steinhagen et al., 2011; N.S. Kazi, 2012).

2. Monitoring Kinerja *Plate Heat Exchanger* Secara *Real-Time*

Dengan mengimplementasikan sistem pemantauan online kinerja *heat exchanger* secara *real-time*, masalah dapat dideteksi lebih awal sehingga tindakan perbaikan atau pembersihan dapat diambil segera (Sridharan et al., 2019).

3. Pengkajian Ulang Beban Kerja Sistem *Plate Heat Exchanger*

Pengaturan ulang aliran fluida atau pembuatan kembali sistem *plate heat exchanger* dapat membantu mengoptimalkan kinerja keseluruhan.

KESIMPULAN

Untuk mengetahui kinerja alat PHE dapat ditinjau dari efektivitas alat tersebut. Nilai efektivitas PHE di PT. XYZ pada saat ini berkisar 81,77% - 86,13%. Hal tersebut masih di atas standar efektivitas PHE yang sudah ditetapkan yaitu 75%. Tetapi efektivitas PHE mengalami penurunan tiap waktunya dan diprediksi akan menurun sampai menjadi 75% pada hari ke-11. Jika kondisi tersebut tetap dibiarkan maka kinerja alat PHE akan menurun dan hal tersebut akan mempengaruhi proses produksi di pabrik. Adapun rekomendasi yang dapat diberikan untuk meningkatkan efektivitas PHE, diantaranya: perawatan dan pembersihan secara rutin, monitoring kinerja *plate heat exchanger* secara *real-time*, serta mengkaji ulang beban kerja sistem *heat plate exchanger*.

DAFTAR PUSTAKA

- Christian, G. K. (2003). Heat Exchanger Fouling and Cleaning : Fundamentals and Applications The Balance Between in the Cleaning of Milk Fouling Deposits. *Engineering*.
- Coniwanti, P., Zamali, F., & Rance, V. L. (2019). Evaluasi efisiensi heat exchanger di refinery plant industri minyak goreng. *Jurnal Teknik Kimia*, 25(1), 18–20. <https://doi.org/10.36706/jtk.v25i1.16>
- D Q Kern. (1983). *Process Heat Transfer*.
- Ekadewi Anggraini Handoyo. (2000). Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Efektivitas Shell-and-Tube Heat Exchanger. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(2), 86–90.
- Hou, T. K., Kazi, S. N., Mahat, A. B., Teng, C. B., Al-Shamma'a, A., & Shaw, A. (2017). Industrial Heat Exchanger: Operation and Maintenance to Minimize Fouling and Corrosion. *Heat Exchangers - Advanced Features and Applications*, April. <https://doi.org/10.5772/66274>
- Kieser, B., Phillion, R., Smith, S., & McCartney, T. (2011). The Application of Industrial Scale Ultrasonic Cleaning To Heat exchangers. *Heat Exchanger Fouling and Cleaning - 2011*, 2011(1961), 336–338.
- Kishore, P. S., Kumar, R., & Vamsi Venkata, N. (2018). Comparative study of mechanical and chemical methods for surface cleaning of a marine shell-and-tube heat exchanger. *Heat Transfer - Asian Research*, 47(3), 520–530. <https://doi.org/10.1002/htj.21316>
- Mahmud, S. F. (2019). Proses Pengolahan CPO (Crude Palm Oil) menjadi RBDPO (Refined Bleached and Deodorized Palm Oil) di PT XYZ Dumai. *UNITEK*, 12(1), 55–64.
- Müller-Steinhagen, H., Malayeri, M. R., & Watkinson, A. P. (2011). Heat exchanger fouling: Mitigation and cleaning strategies. *Heat Transfer Engineering*, 32(3–4), 189–196. <https://doi.org/10.1080/01457632.2010.503108>
- N.S. Kazi. (2012). Fouling and Fouling Mitigation on Heat Exchanger Surfaces. *Heat Exchangers - Basics Design Applications*. <https://doi.org/10.5772/32990>
- Nandiati, S., Kirom, M. R., & Ajiwiguna, T. A. (2019). Evaluasi Kinerja Pada Berbagai Variasi Susunan Heat Exchanger Menggunakan Metode LmtD Dan Ntu Evaluation of Heat Exchanger Configuration Variate Performance Using LmtD and Ntu Methods. *E-Proceeding of Engineering*, 6(2), 5058–5065.
- Rahmadi, J., & Putra, M. J. S. (2023). *Studi Komparatif Efektivitas Perpindahan Kalor dengan Pengaturan Laju Aliran Fluida Pendingin Heat Exchanger Jenis Plate Aliran Searah*. 7, 3500–3506.
- Robiyanyusra, Gani, U. A., & Taufiqurrahman, M. (2021). Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, 2(2), 97–104.

- Shokouhmand, H., & Hasanpour, M. (2020). Effect of number of plates on the thermal performance of a plate heat exchanger with considering flow maldistribution. *Journal of Energy Storage*, 32(June), 101907. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101907>
- Soegijarto, R. A., & Arsana, M. (2021). Pengaruh Variasi Temperatur Fluida Masuk Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Shell And Tube Dengan Menggunakan Nanofluida TiO₂. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(02), 131–136.
- Sridharan, M., Devi, R., Dharshini, C. S., & Bhavadarani, M. (2019). IoT based performance monitoring and control in counter flow double pipe heat exchanger. *Internet of Things (Netherlands)*, 5, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.11.002>
- Sudarni, D. H. A. (2019). Cleaning schedule for increased energy efficiency on heat exchanger process: Sugar plant case study. *Journal of Physics: Conference Series*, 1375(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012007>
- Syaichurrozi, I., Metta Karina, A., & Imanuddin, A. (2014). Study of Plate and Frame Heat Exchanger Performance : The Effects of Mass Flow Rate, Inlet Temperature and Type of Flow Againsts The Overall Heat Transfer Coefficient. *Eksergi*, 11(2), 11. <https://doi.org/10.31315/e.v11i2.361>
- Walikrom, R., Muin, A., & Hermanto. (2018). Studi Kinerja Plate Heat Exchanger Pada Sistem Pendingin PLTGU. *Turbulen: Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 40–47. www.univ-tridinanti.ac.id/ejournal/
- Yahya, A. K., Rahayu, P., Ulia, H., & Maulana, A. Y. (2022). ANALISA HEAD LOSS DAN KERJA POMPA DENGAN VARIASI PERUBAHAN DIAMETER PADA SISTEM PEMIPAAN. *SAINTI: Majalah Ilmiah Teknologi Industri*, 19(2), 51–57.