

Efisiensi dan *Fouling Factor* Sealtube Heat Exchanger pada Proses Pendinginan Refined Bleached Deodorized Palm Oil

Jabosar Ronggur Hamonangan Panjaitan^{1*}, Nurhasanah¹, Laela Febby Atikasari¹, Ponilawati²

¹Prodi Teknik Kimia Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu Way Huwi Jati Agung Lampung Selatan 35365 Lampung

²PT Tunas Baru Lampung, Tbk

Jl HR Rasuna Said Kav C-6 Wisma Budi 9th Floor Jakarta

*jabosar.panjaitan@tse.itera.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i1.13247>

ABSTRACT

Refined Bleached Deodorized Palm Oil (RBDPO) is a product of the crude palm oil (CPO) refining process. RBDPO is one of Indonesia's strategic commodities for low price cooking oil production. The cooking oil processing uses a heat transfer device such as heat exchanger. In this research, the efficiency and fouling factor of the heat exchanger sealtube 881X were calculated at PT. Tunas Baru Lampung, Tbk refinery plant. Heat exchanger sealtube 881X is a tool that used in the heat recovery unit at PT. Tunas Baru Lampung, Tbk refinery plant. Heat exchanger sealtube 881X used to cool refined bleached deodorized palm oil (RBDPO) to 95 – 105°C from the deodorization process by utilizing cooling water. Based on the results, it can be seen that the actual efficiency of Heat exchanger sealtube 881X was between 71-87%. Changes in the value of fouling factor affect the thermal efficiency of the heat exchanger sealtube 881X which from the calculation results, the highest fouling factor value was 0.0017.

Key words : crude palm oil, heat exchanger, fouling factor, sealtube

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit merupakan industri ekspor terpenting di Indonesia (Yusuf *et al.*, 2022) dimana hal ini tidak terlepas dari peran Indonesia sebagai negara penghasil minyak kelapa sawit terbesar di dunia (Shigetomi *et al.*, 2020). Produk utama industri kelapa sawit adalah minyak kelapa sawit yang dapat digunakan untuk dikonversi menjadi berbagai produk. Produk turunan minyak kelapa sawit antara lain biodiesel (Zulqarnain *et al.*, 2021; Wei., 2010), *foaming agent* (Subekti *et al.*, 2017; Subekti *et al.*, 2019; Rivai *et al.*, 2017), surfaktan (Permadi *et al.*, 2017; Wibowo *et al.*, 2021), margarin (Aini dan Miskandar, 2007), emulsifier (Arum *et al.*, 2016), sabun (Girgis, 1999), dan vitamin (Soontornchatchawate *et al.*, 2021; Manurung *et al.*, 2018). Salah satu produk turunan dari minyak kelapa sawit adalah *Refined Bleached Deodorized Palm Oil* (RBDPO). RBDPO merupakan produk penyulingan dari proses penjernihan dan

penyulingan bau dari minyak kepala sawit kasar (CPO) (Mahmud, 2019). Komoditas RBDPO termasuk komoditas strategis Indonesia karna dapat digunakan sebagai bahan baku minyak goreng dengan harga yang relatif murah dibandingkan dengan minyak nabati lainnya seperti minyak jagung, dedak padi dan minyak kedelai (Damarani, 2019).

PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. Cabang Palembang merupakan industri yang memproduksi minyak goreng dari bahan baku *Crude Palm Oil* (CPO). Pada proses produksi CPO menjadi minyak goreng terdiri dari dua proses yaitu *refinery* dan fraksinasi. Secara umum, *refinery* merupakan proses pemisahan berdasarkan titik didih sedangkan fraksinasi merupakan proses pemisahan berdasarkan titik beku. Proses pengolahan CPO menjadi minyak goreng memerlukan alat penukar panas seperti *plate and frame heat exchanger, shell*

Cite this as:

Panjaitan, J.R.H., Nurhasanah., Atikasari, L.F & Ponilawati (2022). *Efisiensi dan Fouling Factor Sealtube Heat Exchanger pada Proses Pendinginan Refined Bleached Deodorized Palm Oil*. *Rekayasa* 15 (1). 29-35 pp.

doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i1.13247>

© 2021 Panjaitan

Article History:

Received: January, 7th 2021; **Accepted:** March, 30th 2022
Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

and tube heat exchanger, boiler, cooler dan lainnya. Alat penukar panas merupakan alat yang digunakan untuk melakukan proses perpindahan panas baik sebagai pendingin maupun pemanas. Salah satu alat penukar panas yang paling banyak digunakan adalah *shell and tube heat exchanger* (Hanafia dan Suryandari, 2021).

Pada proses pengolahan minyak kelapa sawit, peranan konsep dan alat perpindahan panas menjadi faktor penting dan telah banyak diteliti seperti studi termal (Shehu *et al.*, 2019a), analisis *heat transfer* (Rahardja *et al.*, 2018), analisis kapasitas panas (Alakali *et al.*, 2012), *heat exchanger network design* (Rajda *et al.*, 2020), analisis *pinch* (Alwi *et al.*, 2009), kinetika termal hidrolisis minyak kelapa sawit (Shehu *et al.*, 2019b), model dan simulasi panas (Shehu *et al.*, 2019c), dan efisiensi *heat exchanger* (Coniwanti *et al.*, 2019). Penelitian tentang efisiensi *heat exchanger* menjadi penting karena berhubungan dengan kinerja alat. *Heat exchanger sealtube* 881X adalah alat perpindahan panas yang digunakan pada *heat recovery unit* di *refinery plant* PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. *Heat exchanger sealtube* 881X berfungsi untuk mendinginkan fluida panas yaitu *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) dari proses deodorisasi dengan memanfaatkan fluida dingin berupa *cooling water*. RBDPO ini didinginkan dari suhu $\pm 135^{\circ}\text{C}$ sampai suhu mencapai $\pm 95\text{-}105^{\circ}\text{C}$.

Kinerja *heat exchanger sealtube* 881X perlu dievaluasi agar kelangsungan proses perpindahan panas dapat berjalan dengan baik sehingga performa dan kelayakan pakai alat *heat exchanger sealtube* 881X dapat diketahui. Oleh sebab itu, pada penelitian ini akan dievaluasi nilai *fouling factor* dan efisiensi dari *heat exchanger sealtube* 881X dalam proses pendinginan *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO).

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini alat Heat Exchanger yang digunakan adalah *heat exchanger sealtube* 881X pada unit *refinery* di PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. Cabang Palembang (Tabel 1).

Tabel 1. Spesifikasi *Heat Exchanger Sealtube* 881X

Spesifikasi	Keterangan
Jenis Alat	: Shell and Tube
Tube Side	
Tipe	: Horizontal
Outside Diameter Tube (OD)	: 0,598 in
Inside Diameter Tube (ID)	: 0,334 in
Panjang Tube Side (L)	: 99,96 in

Spesifikasi	Keterangan
BWG	: 14
Number of Passes Tube	: 265
Tube Pitch	: 0,713 in
Fluida pada Tube	: RBDPO
Shell Side	
Inside Diameter Shell (ID)	: 17,99209 in
Jarak Baffle (B)	: 6,77164 in
Jumlah Shell	: 1
Tube Clearance C	: 0,114 in
Fluida pada Shell	: Cooling Water
Data Design	
Flowrate Cooling Water	: 21 Ton/hr
Flowrate RBDPO	: 30 Ton/hr
Temperature Cooling Water Inlet	: 28°C
Temperature RBDPO Inlet	: 138°C



Gambar 1. *Heat Exchanger Sealtube* 881X

Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperlukan untuk mengetahui kondisi operasi pada alat *heat exchanger sealtube* 881X yang ada dibagian *refinery plant control room* PT. Tunas Baru Lampung Cabang Palembang. Adapun data-data fluida yang diambil adalah sebagai berikut :

1. Temperatur masuk *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) sebagai fluida panas (TH_{-in}) dan *cooling water* sebagai fluida dingin (TC_{-in})
2. Temperatur keluar *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) sebagai fluida panas (TH_{-in}) dan *cooling water* sebagai fluida dingin (TC_{-in})
3. Laju alir *refined bleached deodorized palm oil* (RBDPO) dan *cooling water*

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan rumus perhitungan sesuai Kern (1983), dengan tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan neraca panas

Berikut persamaan yang digunakan dalam menghitung *Heat Balance*:

$$Q = W \times C_p \times (T_{H \text{ in}} - T_{H \text{ out}}) = w \times c_p \times (T_{C \text{ in}} - T_{C \text{ out}}) \quad (1)$$

Keterangan :

Q = Kalor jenis (Btu/hr)
 W = Laju Alir Fluida Panas (lb/hr)
 w = Laju Alir Fluida Dingin (lb/hr)
 C_p = Kapasitas Panas Fluida Panas (Btu/lb°F)
 c_p = Kapasitas Panas Fluida Dingin (Btu/lb°F)
 $T_{H \text{ in}}$ = Temperatur Fluida Panas Masuk (°F)
 $T_{H \text{ out}}$ = Temperatur Fluida Panas Keluar (°F)
 $T_{C \text{ in}}$ = Temperatur Fluida Dingin Masuk (°F)
 $T_{C \text{ out}}$ = Temperatur Fluida Dingin Keluar (°F)

2. Perhitungan *log mean temperature difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_{H \text{ in}} - T_{C \text{ out}}) - (T_{H \text{ out}} - T_{C \text{ in}})}{\ln \frac{(T_{H \text{ in}} - T_{C \text{ out}})}{(T_{H \text{ out}} - T_{C \text{ in}})}} \quad (2)$$

Keterangan :

$T_{H \text{ in}}$ = Temperatur Fluida Panas Masuk (°F)
 $T_{H \text{ out}}$ = Temperatur Fluida Panas Keluar (°F)
 $T_{C \text{ in}}$ = Temperatur Fluida Dingin Masuk (°F)
 $T_{C \text{ out}}$ = Temperatur Fluida Dingin Keluar (°F)

3. Perhitungan luas penampang

a. Luas Penampang Aliran Bagian *Shell Side*

$$a_s = \frac{ID \times C'' \times B}{144 \times Pt} \quad (3)$$

Keterangan :

ID = *Inside Diameter* (in)
 C'' = Jarak antara *Tube* (in)
 B = Jarak *Baffle* (in)
 Pt = *Tube Pitch* (in)

b. Luas Penampang Aliran Bagian *Tube Side*

$$a_t = \frac{N_T \times a't}{144 \times n} \quad (4)$$

Keterangan :

N_T = Jumlah *Tube*
 $a't$ = *Internal Area*
 n = Jumlah *Tube Passes*

4. Perhitungan kecepatan massa

a. *Shell Side*

$$G_s = \frac{W_s}{a_s} \quad (5)$$

Keterangan :

G_s = *Mass Velocity* (lb/hr.ft²)
 W_s = Laju Alir Fluida Panas (lb/hr)
 a_s = *Flow Area* (ft²)

b. *Tube Side*

$$G_t = \frac{w_t}{a_t} \quad (6)$$

Keterangan :

G_t = *Mass Velocity* (lb/hr.ft²)
 w_t = Laju Alir Fluida dingin (lb/hr)
 a_t = *Flow Area* (ft²)

5. Perhitungan Reynold *number*

a. *Shell Side*

$$Re_s = \frac{(D_e \times G_s)}{\mu} \quad (7)$$

Keterangan :

D_e = Ekuivalen Diameter (ft)
 G_s = *Mass Velocity* (lb/hr.ft²)
 μ = Viskositas fluida dingin pada suhu rata-rata

b. *Tube Side*

$$Re_t = \frac{(D_t \times G_t)}{\mu} \quad (8)$$

Keterangan :

D_t = *Inside Diameter* (ft)
 G_t = *Mass Velocity* (lb/hr.ft²)
 μ = Viskositas fluida dingin pada suhu rata-rata

6. Perhitungan *heat transfer factor* (J_H)

a. *Shell Side* : Nilai J_H untuk sisi *shell* dapat diketahui dari Kern (1983) berdasarkan dari nilai Re_s .

b. *Tube Side* : Nilai J_H untuk sisi *shell* dapat diketahui dari Kern (1983) berdasarkan dari nilai Re_t .

7. Menentukan *thermal function*

Pada tiap suhu, yaitu T_{avg} (*hot fluid*) untuk shell dan t_{avg} (*cold fluid*) untuk Tube diperoleh masing-masing nilai c nilai μ (viskositas) dan nilai K (konduktivitas) pada (Table *Palm Oil Properties dan Physical Characteristics of water table* (Kern, 1983).

$$\left(c \times \frac{\mu}{k}\right)^{1/3} \quad (9)$$

Keterangan :

c = Panas spesifik (Btu/lb.°F)
 k = konduktivitas thermal (Btu/hr.ft.°F)

8. Menentukan nilai *offside film coefficient* (h_o) dan *inside film coefficient* (h_i)

a. *Shell side*

$$h_o = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \times \Phi_s \quad (10)$$

Keterangan :

h_o = *Offside film Coefficient*
 J_H = *Heat Transfer Factor*
 k = konduktivitas (Btu/hr.ft.°F)
 D_e = *Equivalent diameter* (ft)
 c = Panas spesifik (Btu/lb.°F)

b. Tube side

$$h_{io} = J_H \times \frac{k}{D_t} \times \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \times \Phi_t \quad (11)$$

$$\frac{h_{io}}{\Phi_t} = \frac{h_i}{\Phi_t} \times \frac{ID}{OD} \quad (12)$$

Keterangan :

 h_{io} = inside film Coefficient J_H = Heat Transfer Factor k = konduktivitas (Btu/hr.ft.°F) D = Inside diameter (ft) c = Panas spesifik (Btu/lb.°F)9. Perhitungan ϕ_s dan ϕ_t

a. Shell side

$$\Phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (13)$$

b. Tube side

$$\Phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \quad (14)$$

10. Perhitungan h_o dan h_{io}

a. Shell side

$$h_o = \frac{h_0}{\Phi_s} \times \Phi_s \quad (15)$$

b. Tube side

$$h_{io} = \frac{h_{io}}{\Phi_t} \times \Phi_t \quad (16)$$

11. Perhitungan clean overall coefficient (UC)

U_c merupakan Overall heat transfer coefficient jika tidak terjadi fouling/kerak. Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut (Kern, 1983) :

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (17)$$

12. Perhitungan dirty overall coefficient (UD)

U_D merupakan Overall heat transfer coefficient jika terjadi fouling/kerak. Persamaan yang digunakan yaitu sebagai berikut (Kern, 1983) :

$$A = a'' \times L \times N_t \times 2 \quad (18)$$

Keterangan :

 A = Heat Transfer Surface (ft²) N_T = Jumlah Tube a'' = Luas area (ft²/lin.ft) L = Panjang tube (ft)

Maka,

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} \quad (19)$$

13. Perhitungan dirt factor (RD)

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \quad (20)$$

Keterangan :

 R_d = Fouling Factor (hr.ft².°F/Btu) U_c = Clean Overall Heat Transfer Coefficient (Btu/hr.ft².°F) U_D = Dirty Overall Heat Transfer Coefficient (Btu/hr.ft².°F)

14. Perhitungan efisiensi

$$\eta = \frac{Q_{Shell}}{Q_{Tube}} \times 100\% \quad (21)$$

Keterangan :

 Q_{Shell} = panas shell (Btu/hr) Q_{Tube} = panas tube (Btu/hr)**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Data kondisi operasi shell side heat exchanger sealtube 881X dan data kondisi operasi tube side heat exchanger sealtube 881X dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Berdasarkan data pengamatan yang diperoleh secara aktual pada tanggal 9 Agustus 2021 – 13 Agustus 2021 dan perhitungan sesuai Kern (1983), diperoleh hasil perhitungan kinerja alat heat exchanger sealtube 881X pada Tabel 4.

Tabel 2. Data Kondisi Operasi Shell Side Heat Exchanger Sealtube 881X

Tanggal Pengecekan	Flowrate (ton/jam)	Tc-in (°C)	Tc-out (°C)	ΔT
9 Agustus 2021	21,1884	28,4	31,39	29,895
10 Agustus 2021	21,1884	28,3	31,88	30,09
11 Agustus 2021	21,1884	28,3	31,685	29,9925
12 Agustus 2021	35,314	28,2	31,53	29,865
13 Agustus 2021	28,2512	28,2	31,59	29,895

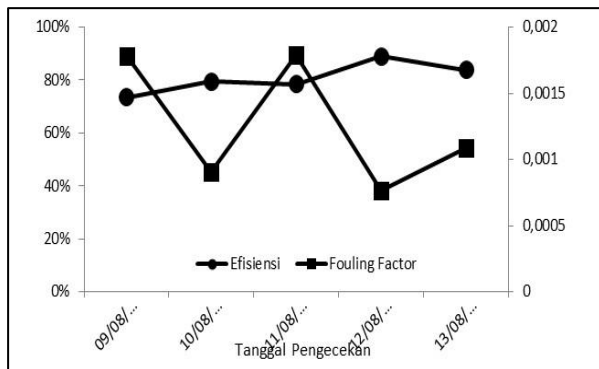
Tabel 3. Data Kondisi Operasi Tube Side Heat Exchanger Sealtube 881X

Tanggal Pengecekan	Flowrate (ton/jam)	Tc-in (°C)	Tc-out (°C)	ΔT
9 Agustus 2021	35,6	141	115,2	128,1
10 Agustus 2021	27	136,5	108,4	122,45
11 Agustus 2021	26,9	137,8	109,7	123,75
12 Agustus 2021	28,5	137,6	109,9	123,75
13 Agustus 2021	28,9	137,2	110,2	123,7

Tabel 4. Perhitungan Efisiensi dan *Fouling Factor* *Heat Exchanger Sealtube* 881X

Tanggal Pengecekan	Flowrate Shell (lb/hr)	Flowrate Tube (lb/hr)	Fouling Factor	Efisiensi
09-08-2022	46712,370	78484,4	0,00177	73,418
10-08-2022	46712,370	59524,7	0,00090	79,450
11-08-2022	46712,370	59304,2	0,00179	78,459
12-08-2022	77853,950	62831,6	0,00076	88,978
13-08-2022	62283,160	63713,5	0,00108	83,877

Pada alur proses *heat exchanger sealtube* 881X, RBDPO sebagai fluida panas akan dialirkan kedalam *tube* pada *heat exchanger sealtube* 881X dan didinginkan dengan *cooling water* sebagai fluida dingin yang masuk kedalam *shell*, *cooling water* akan mendinginkan RBDPO. Hasil keluaran dari *heat exchanger sealtube* 881X adalah RBDPO yang telah diturunkan suhunya dengan rentang suhu sekitar 95-105°C. Proses perpindahan panas terjadi disaat kedua fluida tersebut kontak tak langsung melalui dinding *tube* dengan rambatan panas terjadi secara konduksi dan konveksi antara RBDPO dan *cooling water*. Fluida dingin akan mengalami kenaikan suhu akibat pertukaran panas dengan RBDPO, sedangkan RBDPO akan mengalami penurunan suhu. Berdasarkan hasil perhitungan data aktual selama 5 hari, didapatkan grafik hubungan antara efisiensi terhadap *fouling factor* pada alat *heat exchanger sealtube* 881X sesuai Gambar 2.

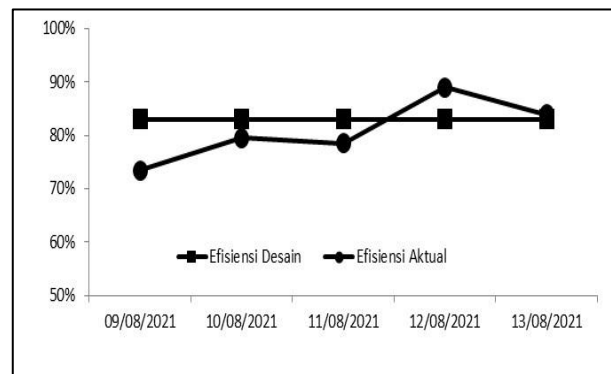


Gambar 2. Grafik Hubungan *Fouling Factor* dan Efisiensi

Berdasarkan data hasil perhitungan terhadap data aktual yang diperoleh di PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. maka didapatkan beberapa nilai yang berkaitan dengan *heat exchanger sealtube* 881X seperti neraca panas, *fouling factor* dan efisiensi. *Fouling factor* adalah suatu angka yang menunjukkan hambatan akibat adanya kotoran yang terbawa oleh fluida yang mengalir dalam *heat*

exchanger. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi *fouling factor* diantaranya laju alir fluida dan temperatur. Temperatur yang tinggi akan menyebabkan terjadinya kerak sehingga meningkatkan nilai *fouling factor*.

Dapat dilihat dari Gambar 2 bahwa nilai *fouling factor* berbanding terbalik dengan nilai efisiensi. Dimana jika nilai *fouling factor* rendah maka nilai efisiensi menjadi tinggi. Hal tersebut dapat dilihat pada hari keempat dimana nilai *fouling factor* mencapai nilai terendah yaitu 0,0007 yang menyebabkan nilai efisiensinya paling tinggi yaitu 88%. Semakin besar nilai *fouling factor* pada alat, maka dapat mempengaruhi kinerja alat menjadi lebih rendah. Efisiensi penukar panas bergantung keberadaan *fouling* permukaan yang berdampak pada perpindahan kalor. Jika ada endapan (*fouling*) pada permukaan alat penukar panas, maka tahanan thermal akan meningkat, sehingga efisiensinya pun akan menurun. Perhitungan efisiensi aktual dan efisiensi desain *heat exchanger sealtube* 881X dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Efisiensi Aktual dan Efisiensi Desain

Berdasarkan Gambar 3 diketahui bahwa rentang efisiensi aktual berkisar antara 71-87% dan sedangkan secara efisiensi desain ditetapkan konstan sejak awal perancangan yaitu 83%. Berdasarkan perbandingan efisiensi aktual dan efisiensi desain diketahui bahwa *heat exchanger sealtube* 881X masih memiliki kemampuan dan performa yang baik dan masih layak dipakai. Sedangkan apabila diperoleh dari pengujian bahwa efisiensi alat *heat exchanger sealtube* 881X yang didapatkan dibawah 70% maka harus segera dilakukan proses *cleaning*.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan nilai efisiensi dan *fouling factor* alat *sealtube heat exchanger* 881X pada unit *refinery* di PT. Tunas Baru Lampung, Tbk. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui bahwa nilai efisiensi aktual *heat exchanger selatube* 881X antara 71-87%. Perubahan nilai *fouling factor* mempengaruhi efisiensi thermal alat *heat exchanger sealtube* 881X dimana dari hasil perhitungan didapatkan nilai *fouling factor* tertinggi adalah 0,0017.

DAFTAR PUSTAKA

- Alakali, J.S., Eze, S.O., dan Ngadi, M.O. (2012). Influence of Variety and Processing Methods on Specific Heat Capacity of Crude Palm Oil. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, Vol. 3, No. 5. DOI: 10.7763/IJCEA.2012.V3.204
- Alwi, S.R.W., Jaya, M.A.T., dan Manan, Z.A. (2009). Cost-Effective Retrofit of a Palm Oil Refinery Using Pinch Analysis. *Jurnal Teknologi*, 51(F), 29 – 40.
- Aini, I.N. dan Miskandar, M.S. (2007). Utilization of Palm Oil and Palm Products in Shortenings and Margarines. *Eur.J.Lipid Sci Technology*, 109, 422 – 432. DOI 10.1002/ejlt.200600232
- Arum, A.P., Hidayat, C., dan Supriyanto. (2016). Synthesis of Emulsifier from Refined Bleached Deodorized Palm Stearin by Chemical Glycerolysis in Stirred Tank Reactor. The UGM Annual Conference Life Sciences 2016. DOI 10.18502/cls.v4i11.3859
- Coniwanti, P., Zamali, F., dan Rance, V.L. (2019). Evaluasi Efisiensi *heat exchanger* di *refinery plant* Industri Minyak Goreng. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 1, Vol. 25.
- Damarani, Z.N., Sholihah, L.M., Zullaikah, S., dan Rachimoellah, M. (2019). Pra-Design Pabrik Refined Bleached Deodorized (RBD) Olein dari Crude Palm Oil (CPO). *Jurnal Teknik ITS*, 8(1), ISSN: 2337 – 3539 (2301-9271 Print). <https://doi:10.12962/j23373539.v8i1.41671>
- Girgis, A.Y. (1999). Using of Mucilage Palm Oil in The Toilet Soap Production. *Grasas y Aceites*, Vol. 50, Fasc. 3, 185 – 192.
- Hanafia, L.S. dan Suryandari, A. S. (2021). Studi Perhitungan Heat Exchanger Sebelum CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) Pada Proses Pembuatan Sabun Mandi Cair. *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, 7(2), 133 – 138. <http://dx.doi.org/10.33795/distilat.v7i2.195>
- Kern, D.Q. (1983). *Process Heat Transfer*. New York: MC Graw Hill Book Company.
- 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. <https://doi.org/10.52072/unitek.v12i1.162>
- Manurung, R., Hutauruk, G.R., dan Arief, A. (2018). Vitamin E Extraction form Red Palm Biodiesel by Using K₂CO₃ Based Deep Eutectic Solvent with Glycerol as Hydrogen Bond Donor. *AIP Conference Proceedings*, 020011. <https://doi.org/10.1063/1.5042867>
- Permadi, P., Fitria, R., dan Hambali, E. (2017). Palm Oil Based Surfactant Products for Petroleum Industry. *International Conference on Biomass: Technology, Application, and Sustainable Development*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 65, 012034. doi :10.1088/1755-1315/65/1/012034
- Rahardja, I.B., Rikman, dan Ramadhan, A.I. (2018). Analysis of Heat Transfer of Fiber Mesocarp of Palm Oil (*Elaeis Guineensis* Jacq) as Roof Building. *Journal of Applied Science and Advance Technology*, Vol. 1, No. 1, ISSN: 2622-6553. DOI: <https://dx.doi.org/10.24853/JASAT.1.1.1-8>
- Rajda, K., Azmi, A.S., Hassan, M.Z., dan Yusup, S. (2020). Heat Exchanger Network Design of Palm Oil Mill in Tronoh Perak for Maximum Energy Recovery. *Journal of Advance Research in Biofuel and Bioenergy*, 1, 1-7.
- Rivai, M., Hambali, E., Suryani, A., Fitria, R., Firmansyah S., dan Pradesi, J. (2017). Synthesis of Palm Oil Fatty Acid as Foaming Agent for

- Firefighting Application. International Conference on Biomass: Technology, Application, and Sustainable Development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 65, 012047. doi:10.1088/1755-1315/65/1/012047
- Shigetomi, Y., Ishimura, Y., dan Yamamoto, Y. (2020). Trends in Global Dependency on The Indonesian Palm Oil and Resultant Environmental Impacts. Scientific Reports, 10:20624. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77458-4>
- Shehu, U.E., Mokhtar, M.N., Nor, M.Z.M., Baharuddin, A.S., dan Nawari, N.M. (2019a). A Study on the Use of Water as a Medium for The Thermal Inactivation of Endogenous Lipase in Oil of Palm Fruit. Energies, 12, 3981. doi:10.3390/en12203981
- Shehu, U.E., Chow, T.Q., Hafid, H.S., Mokhtar, M.N., Baharuddin, A.S., dan Nawari, N.M. (2019b). Kinetics of Thermal Hydrolysis of Crude Palm Oil with Mass and Heat Transfer in a Closed System. Food and Bioprocess Technology 118, 187 – 197. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.09.009>
- Shehu, U.E., Baharuddin, A.S., Nawari, N.M., dan Mokhtar, M.N. (2019c). Modelling and Simulation of Heat Penetration in Palm Fruit during Thermal Treatment Process. Food Research, 3(2): 145 – 150.
- Soontornchatchawate, A., Wattananusorn, S., dan Kitchaiya, P. (2021). Bench Scale Production of Vitamin E from Crude Palm Oil. Chemical Engineering Transactions, Vol. 87. DOI: 10.3303/CET2187107
- Subekti, P., Hambali, E., Suryani, A., dan Suryadarma, P. (2017). Potential Production of Palm Oil-Based Foaming Agent as Fire Extinguisher of Peatlands in Indonesia: Literature Review. International Conference on Biomass: Technology, Application, and Sustainable Development. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 65, 012038. doi:10.1088/1755-1315/65/1/012038
- Subekti, P., Hambali, E., Suryani, A., Suryadarma, P., Saharjo, B.H., dan Rivai, M. (2019). The Formulation of Foaming Agents from Palm Oil Fatty Acid and Performance Test on Peat Fires. Journal of The Japan Institute of Energy, 98, 95 – 100.
- Wei, P.C. (2010). Palm Oil as Feedstock for Biodiesel: Production and Export from Malaysia, Workshop on Developing Sustainable Trade in Bioenergy Nara, Japan.
- Wibowo, A.D.K., Tiani, P., Aditya, L., Handayani, A.S., dan Christwardana, M. (2021). Synthesis and Characterization of Polymeric Surfactant from Palm Oil Methyl Ester and Vinyl Acetate for Chemical Flooding. Reaktor, Vol. 21, No. 2, 65 – 73.
- Yusuf, A.A., Roos, E.L., dan Horridge, J.M. (2018). Indonesia's Moratorium on Palm Oil Expansion from Natural Forests: Economy-Wide Impacts and The Role of International Transfers. Asian Development Review, Vol. 35, No. 2, pp. 85 – 112. https://doi.org/10.1162/adev_a_00115
- Zulqarnain, Yusoff, M.H.M., Ayoub, M., Nazir, M.H., Zahid, I., Ameen, M., Abbas, W., Shoparwe, N.F., dan Abbas, N. (2021). Comprehensive Review on Biodiesel Production from Palm Oil Mill Effluent. ChemBioEng Rev, 8, No. 6, 1 – 25.