

EVALUASI KINERJA ALAT PENUKAR PANAS 11-E-107 PADA UNIT DISTILASI MINYAK MENTAH (CDU)

Misbahudin Alhanif^{1*}, Wike Frastia¹, Muhamad Idham Kamil¹, Andri Cahyo Kumoro², Fauzi Yusupandi¹, Esti Utami³, Desi Riana Saputri¹, Yunita Fahni¹

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia

²Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

³Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung, Jl. Sumantri Brodjonegoro No. 1, Gedung Meneng, Bandar Lampung 35145

[misbahudin.alhanif@tk.itera.ac.id]

ABSTRAK

Pemanasan awal pada unit distilasi minyak mentah (CDU) berfungsi menaikkan temperatur minyak mentah sebelum masuk ruang pembakaran (*furnace*) untuk mengurangi beban kerja dari *furnace*. Pemanasan awal dilakukan dengan bantuan alat penukar panas 11-E-107. Tujuan penelitian ini adalah melakukan evaluasi alat penukar panas 11-E-107 berdasarkan parameter faktor pengotor (*fouling factor, Rd*), penurunan tekanan (*pressure drop, ΔP*), dan efisiensi. Evaluasi dilakukan melalui pengumpulan data aktual berupa laju alir dan suhu fluida panas (*atmospheric residue*) dan fluida dingin (*desalted crude oil*) selama bulan Juni 2023. Analisis hasil perhitungan dilakukan dengan membandingkan antara hasil perhitungan (*Rd, ΔP*, dan efisiensi) terhadap data desain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai *Rd* dari data aktual berkisar antara 0,0006 – 0,0014 hr.ft².°F/Btu, lebih kecil dibandingkan data desain. Hasil analisis penurunan tekanan (*ΔP*) pada *shell* dan *tube* berada pada rentang 0,1046 – 0,1305 dan 0,1031 – 0,1352 psi, lebih kecil dibandingkan *allowable pressure drop*. Efisiensi dari alat penukar panas 11-E-107 berada di antara 87,60 - 91,30%. Secara keseluruhan, kinerja alat penukar panas 11-E-107 dalam kondisi yang baik. Perawatan berkala perlu dilakukan jika efisiensi alat penukar panas berada pada nilai kurang dari 80%.

Kata kunci: alat penukar panas, efisiensi, evaluasi, faktor pengotor, penurunan tekanan.

ABSTRACT

The preheater in the crude distillation unit (CDU) functions to increase the temperature of the crude oil before it enters the combustion chamber (*furnace*) and reduce the furnace's workload. An 11-E-107 heat exchanger aids in the preheating process. The purpose of this research is to evaluate the 11-E-107 heat exchanger based on the fouling factor, *Rd*, pressure drop, *ΔP*, and efficiency parameters. Evaluation is carried out by collecting actual data in the form of flow rate and temperature of hot fluid (*atmospheric residue*) and cold fluid (*desalted crude oil*) during June 2023. The analysis was carried out by comparing the calculation results (*Rd, ΔP*, and efficiency) with the data design. The research results show that the *Rd* value from the actual data ranges between 0.0006-0.0014 hr.ft².°F/Btu, which is smaller than the design data. The results of the pressure drop analysis (*ΔP*) on the shell and tube are in the range of 0.1046–0.1305 and 0.1031–0.1352 psi, smaller than the allowable pressure drop. The 11-E-107 heat exchanger's efficiency ranges from 87.60 to 91.30%. Overall, the performance of the 11-E-107 heat exchanger is in good condition. Periodic maintenance needs to be carried out if the efficiency of the heat exchanger is less than 80%.

Keywords: heat exchanger, efficiency, evaluation, fouling factor, pressure drop.

Corresponding author: Misbahudin Alhanif

Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu Way Hui, Lampung Selatan 35365, Indonesia

E-mail: misbahudin.alhanif@tk.itera.ac.id



1. PENDAHULUAN

Pengolahan minyak mentah dilakukan pada beberapa unit kompleks untuk menghasilkan berbagai macam produk seperti gasolin, LPG, propilena, kerosin, solar, minyak diesel industri (IDO), minyak tuang, dan sebagainya [1]. Adapun salah satu unit proses utama yang digunakan dalam mengolah minyak mentah adalah *Crude Distillation Unit* (CDU-11). Pada CDU, minyak mentah diproses pertama kali untuk memisahkan komponen minyak bumi berdasarkan titik didihnya pada tekanan atmosferik sebelum dikirim ke unit lain [2]. Sebelum masuk kolom fraksinasi utama (11-C-101), bahan baku minyak mentah pada awalnya dilakukan proses pengurangan kadar garam dan pemanasan (*cold* atau *hot preheater*, dan *furnace*). *Hot preheater* merupakan serangkaian alat penukar panas yang disusun secara seri dan paralel serta berfungsi menaikkan temperatur minyak mentah sebelum masuk kedalam ruang pembakaran (*furnace*) [3]. Salah satu alat penukar panas yang digunakan adalah 11-E-107 dengan tipe *shell and tube*. Tujuan pemanasan ini adalah untuk meringankan beban pemanasan dari *furnace* [3]. *Hot preheat* dan *furnace* memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga temperatur agar sesuai spesifikasi umpan 11-C-101. Apabila temperatur keluaran alat pemanas tidak memenuhi spesifikasi umpan kolom 11-C-101, maka beban kerja 11-C-101 akan bertambah. Bertambahnya beban kerja 11-C-101 menyebabkan tingginya konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan sehingga mengakibatkan meningkatnya biaya produksi. Selain itu, spesifikasi umpan yang tidak sesuai dapat menyebabkan berkurangnya jumlah umpan yang masuk ke unit lainnya. Hal tersebut mengakibatkan produk yang dihasilkan pun akan berkurang [4]. Pemanasan awal dapat dilakukan dengan mempertukarkan panas antara fluida panas dan dingin dengan menerapkan prinsip-prinsip teknologi *pinch* atau penggunaan pemanas yang disediakan oleh unit utilitas [5]. Oleh karena itu, penting dilakukan studi evaluasi kinerja alat penukar panas 11-E-107 untuk mengetahui beberapa parameter penting seperti faktor kekotoran (*dirt factor*), *pressure drop*, dan efisiensi penukar panas.

Evaluasi kinerja alat penukar panas telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Lebele-Alawa dan Ohia (2013) melakukan evaluasi alat penukar panas 2-E-2301 pada unit polietilena berdasarkan koefisien perpindahan panas keseluruhan, dimana nilainya 50% lebih rendah dibandingkan data desain [6]. Pada penelitian lainnya, Shanahan (2020) melakukan evaluasi alat penukar panas dengan sistem fluida gliserin-metanol dan dihasilkan nilai transfer unit (NTU) meningkat seiring dengan meningkatnya laju alir fluida dingin [7]. Terbaru, Alidifan dan Chalim (2024) melakukan evaluasi kinerja alat penukar panas pada sistem fluida formalin-gliserol. Hasilnya, kenaikan laju alir dan suhu fluida panas (gliserol) meningkatkan NTU dan efektivitas pertukaran panas [8]. Akan tetapi, belum ada penelitian terkait evaluasi alat penukar panas 11-E-107 pada CDU dengan fluida panas *atmospheric residue* dan fluida dingin *desalted crude oil*.

Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi alat penukar panas 11-E-107 pada CDU untuk mengetahui kinerja alat penukar panas dibandingkan dengan data desain awal. Kinerja alat penukar panas dinilai berdasarkan beberapa parameter seperti faktor kekotoran (*fouling factor*, R_d) yang dapat disebabkan oleh adanya endapan atau kerak yang menempel pada dinding alat penukar panas [9]. Selain itu, penurunan tekanan (*pressure drop*, ΔP) aktual juga perlu dihitung untuk menjaga agar laju alir fluida pada sisi *shell* dan *tube* 11-E-107 dapat dipertahankan. Kinerja alat penukar panas yang ada juga dapat ditentukan berdasarkan

efisiensi perpindahan panas sehingga dapat memberikan informasi tentang kinerja alat penukar panas aktual dan dapat menjadi pertimbangan dalam pengoperasian maupun perawatan alat penukar panas tersebut.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode perhitungan dilakukan dengan beberapa tahap yaitu, analisis data desain alat penukar panas 11-E-107 pada CDU dari industri pengolahan minyak mentah, pengukuran data aktual alat penukar panas 11-E-107 pada CDU selama periode Juni 2023, melakukan perhitungan *fouling factor* (R_d), *pressure drop* (ΔP), dan efisiensi alat penukar panas dari data aktual dengan berpedoman pada studi literatur berdasarkan Kern (2011), dan melakukan evaluasi terkait hasil perhitungan dengan membandingkan terhadap data desain [10].

Tabel 1. Data desain alat penukar panas 11-E-107

Parameter	Kinerja Alat Penukar Panas 11-E-107			
	Shell		Tube	
	Input	Output	Input	Output
Jenis fluida	Atmospheric Residue		Desalted Crude Oil	
Laju alir (kg/jam)	595.172		884.896	
Temperatur (°C)	246,4	212,0	169,0	193,0
Densitas (kg/m ³)	776,3	800,0	770,5	751,7
Viskositas (cP)	1,252	2,147	1,265	0,746
Panas spesifik (kcal/kg.°C)	0,67	0,63	0,59	0,62
Konduktivitas panas (kcal/m.jam.°C)	0,091	0,096	0,091	0,086
Jumlah <i>pass</i>	1		2	
Jumlah <i>tube</i>			1.440	
<i>OD tube</i> (mm)			25,4	
<i>ID shell</i> (mm)			1.480	
Panjang (mm)			6.100	
<i>Birmingham Wire Gage, BWG</i>			12	
Jarak antar <i>baffle</i> (mm)			530	
<i>Pitch</i> (mm)			31,75	

Tabel 2. Data aktual alat penukar panas 11-E-107

Minggu ke-	Laju alir (kg/jam)		Temperatur (°C)			
	Shell	Tube	Shell In	Shell Out	Tube In	Tube Out
1	396.342,5	599.838,1	246,7010	215,5111	153,7592	173,7114
2	392.590,0	646.325,6	254,8367	224,4960	166,5734	184,7074
3	442.621,8	689.847,8	257,1360	226,1942	159,6541	178,7816
4	421.665,0	678.637,7	255,4592	224,3614	160,3288	179,7781

Perhitungan kinerja alat penukar panas 11-E-107 dilakukan merujuk pada Kern (2011) dengan langkah sebagai berikut [10]:

- a. Menghitung Neraca Panas (*Heat Balance*)

$$Q = m_H \cdot Cp_H \cdot (T_1 - T_2) = m_C \cdot Cp_C \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Q = Kalor jenis (Btu/jam)

m_H = Laju alir fluida panas (lb/jam)

- m_C = Laju alir fluida dingin (lb/jam)
 C_{pH} = Kapasitas panas fluida panas (Btu/lb°F)
 C_{pC} = Kapasitas panas fluida dingin (Btu/lb°F)
 T_1 = Temperatur fluida panas masuk (°F)
 T_2 = Temperatur fluida panas keluar (°F)
 t_1 = Temperatur fluida dingin masuk (°F)
 t_2 = Temperatur fluida dingin keluar (°F)

b. Menghitung LMTD, *Log Mean Temperature Difference*

$$\Delta LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}} \quad (2)$$

c. Faktor koreksi LMTD (F_T)

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \quad (3)$$

$$S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \quad (4)$$

Nilai F_T diperoleh dari Kern (2011) *Appendix Gambar 18* [10].

d. *Caloric temperature* fluida panas (T_c) dan dingin (t_c)

- Menghitung *caloric temperature* dengan menghitung $\Delta t_c / \Delta t_h$

$$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2) \quad (5)$$

$$t_c = t_1 + F_c(t_2 - t_1) \quad (6)$$

- Menghitung nilai K_c dan F_c berdasarkan Kern (2011) *Appendix Gambar 17* [10].

e. Menghitung *flow area*

- *Tube*

$$a_t = \frac{N_t x a'_t}{n} \quad (7)$$

a_t : *flow area tube* (ft²)

N_t : Jumlah *tube*

a'_t : *flow area per tube* (ft²) dari Tabel 10 Kern (2011) berdasarkan diameter luar (OD) *tube* dan *BWG* [10].

n : Jumlah *pass*

- *Shell*

$$a_s = \frac{ID x C' x B}{144 x P_t} \quad (8)$$

a_s : *Flow area shell* (ft²)

C' : *Clearence* (in)

B : *Baffle space* (in)

P_t : *Pitch* (in)

f. *Mass velocity fluid*

$$G_t = \frac{m_C}{a_t} \quad (9)$$

$$G_s = \frac{m_H}{a_s} \quad (10)$$

G_t : *Mass velocity tube* (lb/jam.ft²)

G_s : *Mass velocity shell* (lb/jam.ft²)

g. Bilangan Reynold,

$$Re_t = \frac{DxG_t}{\mu} \quad (11)$$

$$Re_s = \frac{DexG_s}{\mu} \quad (12)$$

Re_s : Reynold number in shell

Re_t : Reynold number in tube

De : Diameter ekuivalen shell (ft)

D : Diameter dalam tube (ft), Kern (2011) Appendix Tabel 10 [10].

μ : Viskositas fluida pada *caloric temperature* (lb/ft.jam)

h. Faktor perpindahan panas pada *Shell* dan *Tube* (jH)

Setelah mendapatkan *Reynold number*, menentukan nilai jH berdasarkan Kern (2011) Appendix Gambar 28 untuk *shell* dan Gambar 24 untuk tube [10].

i. Menghitung nilai koefisien perpindahan panas bagian *tube* (h_i) dan *shell* (h_o)

$$h_o = jH \times \left(\frac{k}{D}\right) \times \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (13)$$

$$h_i = jH \times \left(\frac{k}{D}\right) \times \left(\frac{Cp\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

h_o : Koefisien transfer di *shell* (Btu/jam.ft².°F)

h_i : Koefisien transfer di *tube* (Btu/jam.ft².°F)

jH : Faktor perpindahan panas

k : Konduktivitas pada *caloric temperature* (Btu/jam.ft².(°F/ft)

Cp : *Specific heat* pada *caloric temperature* (Btu/jam.ft².°F)

j. Menghitung h_{io}

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} \quad (15)$$

h_{io} : koefisien transfer konveksi pada cairan bagian dalam (Btu/jam.ft².°F)

ID : diameter dalam *tube* (in)

OD : diameter luar tube (in)

k. Menghitung *clean overall heat coefficient* (U_c)

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (16)$$

U_c : *Clean overall heat coefficient* (Btu/jam.ft².°F)

l. Menghitung *design overall heat coefficient* (U_d)

$$U_d = \frac{Q}{A \times \Delta T} \quad (17)$$

U_d : *design overall heat coefficient* (Btu/jam.ft².°F)

m. *Fouling Factor* (R_d)

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (18)$$

R_d : *fouling factor* (jam.ft².°F/Btu)

n. Efisiensi alat penukar panas (η)

$$\eta = \frac{Q_{serap}}{Q_{lepas}} \times 100\%$$

o. Penurunan tekanan (ΔP)

- *Shell*

$$\Delta P_s = \frac{f G_s D_e (N+1)}{5,22 \times 10^{10} D_e s} \tag{19}$$

ΔP_s : *pressure drop* di bagian *shell* (psi)

f : faktor kekasaran (ft²/in²)

$N+1$: jumlah *crosses*

s : *specific gravity*

- *Tube*

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5,22 \times 10^{10} D_s} \tag{20}$$

ΔP_t : *pressure drop* di bagian *tube* (psi)

L : panjang *tube* (ft)

n : jumlah *tube pass*

$$\Delta P_r = \frac{4n}{s} \frac{V^2}{2g'} \frac{62,5}{144} \tag{21}$$

ΔP_r : *additional pressure drop* (psi)

V : kecepatan alir fluida (ft/s)

g' : percepatan gravitasi (ft/s²)

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \tag{22}$$

ΔP_T : *pressure drop total* di bagian *tube* (psi)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

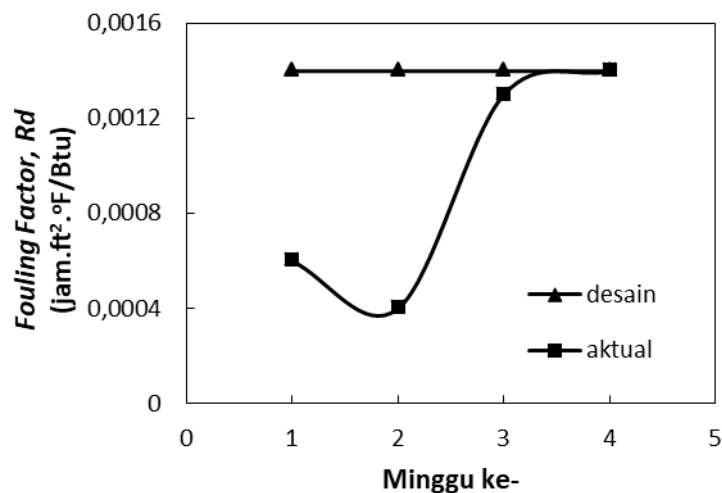
Berdasarkan data desain yang diperoleh dari data *sheet* alat penukar panas 11-E-107 CDU-11 dan data aktual yang diperoleh dari tanggal 1 - 24 Juni 2023, diperoleh hasil perhitungan kinerja 11-E-107 seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Alat penukar panas 11-E-107 merupakan alat penukar panas antara fluida *atmospheric residue* (AR) sebagai fluida panas yang terletak pada *shell* dan *desalted crude oil* sebagai fluida dingin yang terletak pada *tube*.

Tabel 3. Hasil perhitungan kinerja alat penukar panas 11-E-107

Variabel	Data desain	Data aktual per minggu
		0,0006
<i>Foulling Factor, Rd</i> (hr.ft ² .°F/Btu)	0,0014	0,0004 0,0013 0,0014 0,1046
<i>Pressure drop shell, ΔPs</i> (psi)	1	0,1075 0,1305 0,1184 0,1031
<i>Pressure drop tube, ΔPt</i> (psi)	0,7	0,1109 0,1352 0,1181 87,90
Efisiensi (%)	94,30	89,40 87,60 91,50

3.1. Evaluasi *Fouling Factor (Rd)* Alat Penukar Panas 11-E-107

Peristiwa terakumulasinya padatan yang tidak diinginkan pada permukaan alat penukar panas yang berkontak dengan fluida kerja dikenal sebagai faktor *fouling* (R_d). Ada banyak faktor yang memengaruhi *fouling*, termasuk jenis alat penukar panas, dan jenis pengotor yang dibawa oleh fluida saat mengalir di dalam alat penukar panas [11]. Kotoran yang terbawa akan membentuk lapisan yang menghalangi transfer panas, menyebabkan alat penukar panas tersumbat, penurunan efisiensi panas, dan penurunan tekanan [9]. Beberapa faktor, termasuk jenis alat penukar kalor, jenis material yang digunakan, dan jenis fluida kerja, biasanya memengaruhi *fouling* [12].



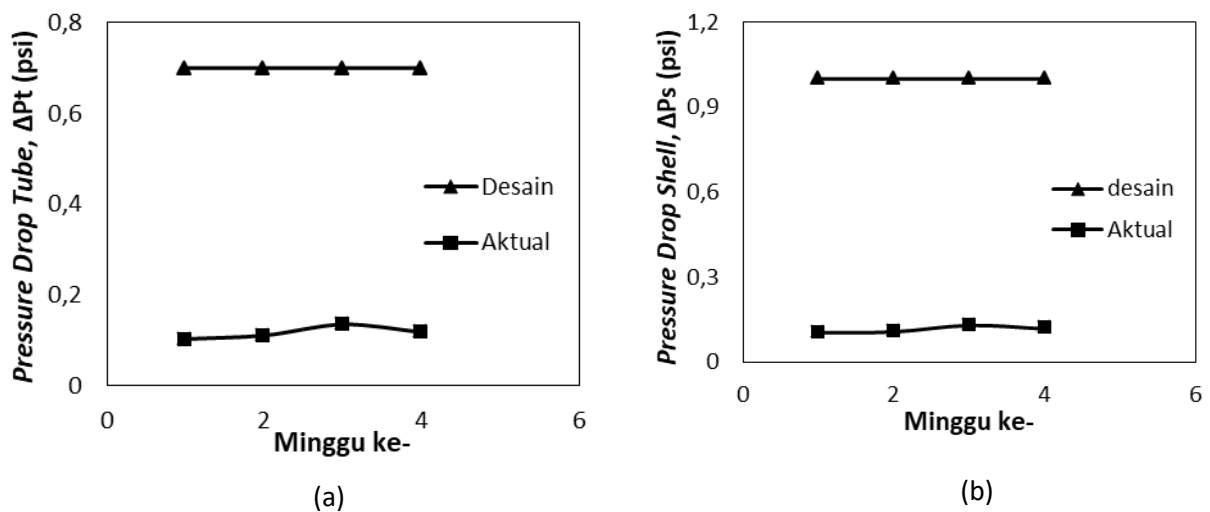
Gambar 1. Perbandingan *fouling factor* (R_d) alat penukar panas 11-E-107

Hasil evaluasi *fouling factor* (R_d) alat penukar panas 11-E-107 menunjukkan bahwa nilai R_d desain lebih besar dibandingkan data aktual seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan beban panas yang dipertukarkan antara desain dan aktual. Nilai R_d sangat dipengaruhi oleh pertukaran kalor (Q) yang terjadi antara fluida panas dan dingin. Semakin besar panas yang dipertukarkan maka nilai R_d akan semakin tinggi [13]. Evaluasi nilai R_d aktual setiap minggu terlihat adanya kenaikan dan penurunan disebabkan oleh ketidakstabilan kinerja alat penukar panas yang ditandai dengan fluktuasi temperatur masuk dan keluar fluida panas (*atmospheric residue*) dan fluida dingin (*desalted crude oil*). Selain itu, dari Tabel 2 terlihat bahwa laju alir fluida panas dan dingin pada minggu ke-2 dan ke-3 mengalami kenaikan yang menyebabkan besarnya nilai pertukaran panas. Laju alir fluida sangat dipengaruhi oleh densitas dan viskositas fluida yang selalu berubah akibat campuran berbagai jenis *crude oil* [14].

3.2. Evaluasi *Pressure Drop (ΔP)* pada Alat Penukar Panas 11-E-107

Pressure drop merupakan peristiwa menurunnya tekanan dari satu titik ke titik lainnya dalam suatu pipa atau tabung. *Pressure drop* dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, beberapa di antaranya yaitu faktor gesekan, diameter dan panjang pipa, temperatur aliran, dan kecepatan aliran di dalam pipa atau tabung sehingga *pressure drop* memiliki peranan penting dalam kinerja heat exchanger [15]. Evaluasi *pressure drop* (ΔP) dapat ditinjau dari dua sisi alat penukar panas yaitu *pressure drop* pada *shell* (ΔP_s) dan *pressure drop* pada *tube* (ΔP_t).

Hasil perhitungan ΔP_s alat penukar panas 11-E-107 aktual didapatkan nilai yang relatif stabil dari minggu ke-1 hingga 4 berkisar antara 0,1046 sampai 0,1305 psi seperti terlihat pada Gambar 2 (a). Nilai ΔP_s aktual berada di bawah nilai penurunan tekanan yang diizinkan oleh alat penukar panas (*allowable pressure drop*) sisi *shell* yaitu sebesar 1 psi [10]. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi alat penukar panas 11-E-107 masih sangat baik. Dari Gambar 2 (b) terlihat bahwa hasil evaluasi ΔP_t alat penukar panas 11-E-107 memiliki nilai antara 0,1031 sampai 0,1352 psi. Nilai tersebut juga masih di bawah nilai penurunan tekanan yang diizinkan oleh alat penukar panas (*allowable preassure drop*) yaitu 0,7 psi [10]. Sehingga dapat dinyatakan bahwa alat penukar panas 11-E-107 masih menunjukkan spesifikasi yang baik.



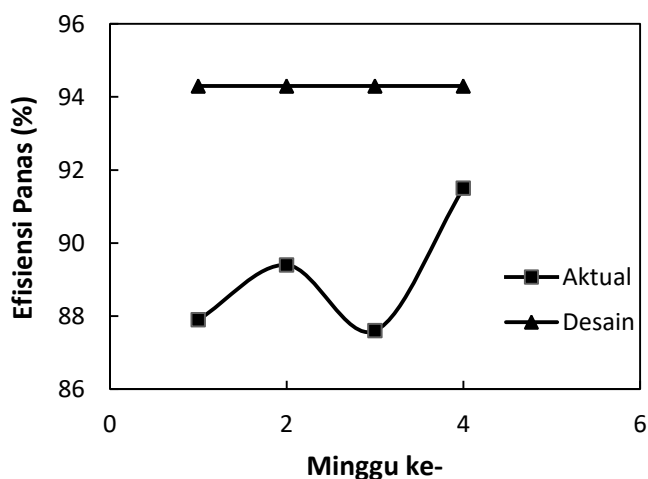
Gambar 2. Perbandingan *pressure drop* (a) *shell* (ΔP_s) dan (b) *tube* (ΔP_t) pada alat penukar panas 11-E-107

Peningkatan *pressure drop* berkaitan dengan akumulasi pengotor (*fouling*) di dalam pipa-pipa atau ruang dalam alat penukar panas [16]. *Pressure drop* semakin lama semakin besar sebab *fouling factor* yang tersedia semakin mendekati nilai jenuh dari desain [16]. Semakin tinggi nilai *fouling factor* maka *pressure drop* semakin meningkat [17]. Akan tetapi, terlihat bahwa nilai *pressure drop* pada minggu ke-4 mengalami penurunan dibandingkan minggu ke-3, meskipun memiliki nilai *fouling* yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan nilai laju alir fluida panas (*atmospheric residue*) dan fluida dingin (*desalted crude oil*) pada minggu ke-4 mengalami penurunan dibandingkan minggu ke-3. Nilai *pressure drop* dipengaruhi oleh kecepatan aliran masuk dan luas penampang pipa, dimana semakin besar laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya (*atmospheric residue* dan *desalted crude oil*), maka *pressure drop* akan semakin meningkat [18].

Penggunaan fluida berupa *atmospheric residue* dan *desalted crude oil* meningkatkan kemungkinan penurunan tekanan dalam ruang alat penukar panas. Fluida yang digunakan memiliki viskositas yang rendah serta memiliki laju alir yang besar. Komposisi fluida serta sifat-sifat lainnya turut berperan dalam pembentukan tekanan di dalam suatu alat penukar panas [19].

3.3. Evaluasi Efisiensi (%) Alat Penukar Panas 11-E-107

Efisiensi terbaik alat penukar panas dapat dicapai dengan menyeimbangkan antar variabel-variabel operasi seperti penurunan tekanan (ΔP), daya pompa, laju pembentukan kerak (*fouling*), dan erosi pada pipa [20]. Efisiensi desain alat penukar panas 11-E-107 didapatkan sebesar 94,30%, sedangkan efisiensi aktual berada pada rentang nilai 87,60 – 91,50 % seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Efisiensi aktual lebih rendah dibandingkan efisiensi desain disebabkan oleh beberapa faktor, yang paling utama adalah jenis fluida, laju alir dan temperatur [15]. Alat penukar panas 11-E-107 dengan efisiensi tinggi digunakan untuk *atmospheric residue (AR)* dengan komposisi utama berasal dari sumur minyak bumi daerah Duri, Mandau, Kab. Bengkalis (80%) dan Minas, Kab. Siak (20%). Pada kondisi aktual, komposisi fluida selalu berubah bergantung pada ketersediaan. Umpan masuk sangat mempengaruhi nilai efisiensi alat, utamanya fraksi berat minyak bumi (*crude oil*) yang memiliki kandungan pengotor yang tinggi. Hal ini menyebabkan *fouling* pada *shell* dan/atau *tube* yang akan mempengaruhi nilai efisiensi panas.



Gambar 3. Perbandingan efisiensi panas (%) alat penukar panas 11-E-107

Nilai efisiensi pada minggu ketiga mengalami penurunan akibat cukup tingginya faktor pengotor, serta tingginya laju alir fluida dan temperatur fluida pada sisi *shell* dan *tube*. Pada minggu keempat, efisiensi aktual mencapai nilai tertinggi dibandingkan minggu lainnya. Kondisi tersebut diperkuat dengan adanya kedekatan nilai laju alir dan temperatur antara desain dan aktual. *Fouling factor* dan waktu operasi juga berpengaruh pada efisiensi panas [15]. *Fouling factor* yang tinggi menyebabkan terbentuknya endapan menyerupai kerak yang akan menghambat perpindahan panas pada fluida. Nilai efisiensi perpindahan panas minimum yang dipersyaratkan adalah 80% [21]. Apabila nilai efisiensi alat penukar panas menurun melewati batas minimum, maka alat tersebut perlu dilakukan pembersihan (*cleaning*) secara berkala berdasarkan jadwal perawatan (*maintenance*) CDU. Langkah lain yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan *anti-foulant* untuk menghambat terjadinya *fouling* dan menjaga performa alat penukar panas tetap pada kondisi yang baik.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi alat penukar panas 11-E-107 pada CDU, dapat disimpulkan bahwa ditemukan adanya endapan atau pengotor pada alat penukar panas yang ditandai dengan nilai *fouling factor* (*Rd*) antara 0,0006 – 0,0014 hr.ft².°F/Btu. Nilai *Rd* hasil evaluasi data aktual lebih kecil dibandingkan data yang tersedia pada desain. Nilai penurunan tekanan pada *shell* (ΔP_s) berada pada rentang 0,1046 – 0,1305 psi. Berdasarkan pengamatan setiap pekan, nilai ΔP_s aktual berada di bawah *allowable preassure drop* sebesar 1 psi. Nilai penurunan tekanan pada *tube* (ΔP_t) didapatkan nilai antara 0,1031 – 0,1352 psi dan berada di bawah nilai *allowable preassure drop* sebesar 0,7 psi. Efisiensi dari alat penukar panas 11-E-107 masih tergolong baik dan berada pada kisaran antara 87,60 - 91,50 %, sedikit lebih rendah dibandingkan kondisi desain sebesar 94,30%.

Secara keseluruhan, kinerja alat penukar panas 11-E-107 dalam kondisi baik. Peningkatan efisiensi dapat dilakukan dengan memperkecil nilai *Rd* melalui pembersihan alat penukar panas secara berkala. Penelitian lebih lanjut terkait analisis kinerja alat penukar panas yang ditinjau dari nilai NTU dan efektivitas pertukaran panas perlu dilakukan. Sehingga diharapkan diperoleh hasil evaluasi menyeluruh untuk alat penukar panas 11-E-107 pada unit CDU.

REFERENSI

- [1] Z. Wang, M. Fingas, dan K. Li, "Fractionation of a light crude oil and identification and quantitation of aliphatic, aromatic, and biomarker compounds by gas chromatography– flame ionized detector and gas chromatography-mass spectrometry, part I," *Journal of Chromatographic Science*, vol. 32, no. 9, hal. 361–366, 1994.
- [2] R. L. Zaim, W. E. Muqni, S. Nurkhamidah, Y. Rahmawati, dan S. Gondo, "Crude Distillation Unit (CDU) dari Kuwait Crude Oil," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 6, no. 2, 2018.
- [3] R. Rivas-Perez, V. Feliu-Battle, F. J. Castillo-Garcia, dan I. Benitez-Gonzalez, "Temperature control of a crude oil preheating furnace using a modified Smith predictor improved with a disturbance rejection term," *International Federation of Automatic Control Proceeding, Vol.*, vol. 19, no. August 2020, hal. 5760–5765, 2014.
- [4] Y. Wu, Y. Wang, R. Liu, dan X. Feng, "Applying plate heat exchangers in crude preheat train for fouling mitigation," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 165, hal. 150–161, 2021.
- [5] M. Alhanif, G. J. Sanyoto, dan W. Widayat, "Process integration of sulfuric acid plant based on contact process," *Frontiers in Heat and Mass Transfer*, vol. 15, no. 17, hal. 1–6, Okt 2020.
- [6] B. T. Lebele-Alawa dan I. O. Ohia, "Performance Evaluation of Heat Exchangers in a Polyethylene Plant," *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, vol. 3, no. 1, hal. 49–57, 2013.
- [7] R. Shanahan dan A. Chalim, "Studi Literatur Tentang Efektivitas Alat Penukar Panas Shell and Tube 1-1 Sistem Fluida Gliserin – Metanol Dengan Aliran Counter Current," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 6, no. 2, hal. 164–170, 2020.
- [8] F. Alidifan dan A. Chalim, "Pengaruh Variasi Suhu Dan Laju Alir Terhadap Kinerja Pertukaran Kalor Sistem Fluida Formalin-Gliserol Menggunakan Shell and Tube Heat

- Exchanger Pada Aliran Laminer,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 10, no. 1, hal. 322–328, 2024.
- [9] A. Maulida, B. Belyamin, dan G. G. R. Gunadi, “Pengaruh Plugging dan Fouling Terhadap Performa Kondensor Pada Unit 1 di PLTU Ombilin,” *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, vol. 12, no. 2, hal. 1651–1659, 2022.
- [10] D. Q. Kern, *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill, 2011.
- [11] I. A. Fitria, D. A. Sari, V. P. Fahriani, dan M. Djaeni, “Fouling Factor Penukar Panas Shell and Tube melalui Program Heat Transfer Research Inc (HTRI),” *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, vol. 7, no. 2, hal. 104–113, 2022.
- [12] Hendri, Suhengki, dan A. F. Lubis, “Pengaruh Fouling Terhadap Laju Perpindahan Panas,” *Jurnal Power Plant*, vol. 6, no. 1, hal. 48–57, 2018.
- [13] H. N. Sari, I. M. Arsana, dan M. Hidayatulloh, “Pengaruh Fouling Factor Terhadap Performa Heat Exchanger Tipe Shell and Tube,” *Jurnal Mekanova : Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, vol. 8, no. 1, hal. 55, 2022.
- [14] A. Husen, M. I. Akbar, dan N. Cholis, “Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger,” *Bina Teknika*, vol. 16, no. 1, hal. 1, 2020.
- [15] A. N. A. Ghifary, A. N. Hasya, T. Riadz, dan L. Cundari, “Evaluasi Kinerja Heat Exchanger E-401 Pada Unit Pe3 Pt. Lotte Chemical Titan Nusantara,” *Jurnal Sains dan Teknologi Reaksi*, vol. 20, no. 01, 2022.
- [16] R. J. Prabaswara, S. Rulianah, C. Sindhuwati, dan R. Raharjo, “Evaluasi Pressure Drop Heat Exchanger-03 Pada Crude Distillation Unit Ppsdm Migas Cepu,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 505–513, 2023.
- [17] T. E. Prasasti, S. S. Udjiana, dan Y. Muharram, “Evaluasi Fouling Faktor Terhadap Kinerja Heat Exchanger Pada Gas Cooler Unit Co2 Liquid Plant,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, hal. 570–578, 2023.
- [18] H. A. Falah, M. I. P. Hidayat, dan S. Pintowantoro, “Analisis Pengaruh Flow Rate dan Pressure pada In Situ Well Repair Menggunakan Material Polyacrylamide dengan CFD-FEM Coupling Method,” *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, hal. 1–6, 2018.
- [19] A. A. Abd, M. Q. Kareem, dan S. Z. Naji, “Performance analysis of shell and tube heat exchanger: Parametric study,” *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, no. July, hal. 563–568, 2018.
- [20] J. S. R. Tabares, L. Perdomo-Hurtado, dan J. L. Aragón, “Study of Gasketed-Plate Heat Exchanger performance based on energy efficiency indexes,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 159, no. May, hal. 1-11, 2019.
- [21] Y. A. Saputri, K. Sa’diyah, dan E. Yulianto, “Analisis Efisiensi Heater Pada Pengolahan Steam Unit 7 Pembangkit Listrik Tenaga Uap,” *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 54–63, 2023.