

EVALUASI PERFORMA *HEAT EXCHANGER* 11E-25 CDU I (*CRUDE DISTILLATION UNIT I*) PADA FOC I (*FUEL OIL COMPLEX I*) PT PERTAMINA (PERSERO) REFINERY UNIT IV CILACAP JAWA TENGAH

Prayoga Vicky Gusniawan, Ahmad Zaky Aldillah, Sri Rulianah
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
prayogavickygusniawan@gmail.com; sri.rulianah@polinema.ac.id

ABSTRAK

PT Pertamina RU IV Cilacap mengandalkan *Heat Exchanger* (HE) dalam perpindahan panas dan efisiensi energi dalam memenuhi kebutuhan produksi. Salah satu *heat exchanger* yang digunakan ialah HE 11E-25 dengan tipe alat *Shell and Tube Heat Exchanger* (STHE). HE 11E-25 digunakan untuk memanaskan *Arabian Light Crude* (ALC) didalam tube side sebagai fluida dingin dengan *Long residu* di dalam *shell side* sebagai fluida panas. *Long residu* dari HE 11E-25 akan dimanfaatkan kembali untuk memanaskan *crude* kembali pada HE 11E-7 di dalam *shell side*. Hal ini terjadi terus menerus sehingga menurunkan performa HE sehingga perlu dilakukan evaluasi. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja dari HE 11E-25 dengan menggunakan metode Kern. Adapun prosedur percobaan meliputi pengumpulan data primer dan data sekunder kemudian dilakukan perhitungan dengan metode Kern untuk dapat menyimpulkan kinerja HE 11E-25 tersebut. Dari hasil evaluasi nilai *Fouling Factor* (Rd) pada data design sebesar $0,007 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ pada *shell* dan $0,0065 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ pada *tube* sedangkan nilai *Fouling Factor* (Rd) pada data aktual menunjukkan hasil $0,0507 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ pada *shell* dan $0,2722 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ pada *Tube* dimana meningkatnya nilai Rd menunjukkan terdapat akumulasi endapan, *scale*, dan *fouling* pada *Heat Exchanger* sehingga perlu *maintenance*.

Kata kunci: *heat exchanger, perpindahan panas, fouling factor, scale, fluida*

ABSTRACT

PT Pertamina RU IV Cilacap relies on *Heat Exchangers* for heat transfer and energy efficiency in meeting production needs. One of the *heat exchangers* used is HE 11E-25 with the type of STHE (*Shell and Tube Heat Exchanger*) device. HE 11E-25 is used to heat *Arabian Light Crude* (ALC) in the tube side as a cold fluid with *Long residue* in the shell side as a hot fluid. *Long residue* from HE 11E-25 will be reused to heat *crude* again at HE 11E-7 on the shell side. This happens continuously so that it reduces the performance of HE so that it needs to be evaluated. The purpose of this study was to evaluate the performance of the HE 11E-25 using the Kern method. The experimental procedure includes the collection of primary data and secondary data and then calculations are carried out using the Kern method to be able to conclude the performance of the HE 11E-25. From the results of the evaluation the *Fouling Factor* (Rd) value in the data design is $0.007 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ on the shell and $0.0065 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ on the tube while the *Fouling Factor* (Rd) value on the actual data shows a result of $0.0507 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ on the Shell and $0.2722 \text{ ft}^2 \text{ hr F/Btu}$ on the tube where an increase in the Rd value indicates an accumulation of deposits, *scale* and *fouling* in the *Heat Exchanger* that requires *maintenance*.

Keywords: *heat exchanger, heat transfer, fouling factor, scale, fluid*

1. PENDAHULUAN

Pada industri pengolahan minyak dan gas akan melibatkan perpindahan panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperature antara fluida dingin dan fluida panas. Alat perpindahan panas yang digunakan ialah *heat exchanger*. *Heat exchanger* merupakan alat penukar kalor yang berguna dalam perpindahan panas antar dua fluida yang berbeda (fluida dingin dan fluida panas) serta terdapat sekat pemisah untuk memisah fluida [1]. *Heat exchanger* dapat berfungsi sebagai pendingin maupun pemanas sesuai kebutuhan prosesnya [2]. *Heat exchanger* digunakan dalam proses perpindahan panas tanpa adanya perpindahan massa di dalamnya [3]. Pada kilang PT Pertamina RU IV Cilacap mengandalkan *heat exchanger* dalam proses pertukaran panas dan efisiensi energi dalam memenuhi kebutuhan produksi sehingga *heat exchanger* (HE) sangat mempengaruhi kelancaran suatu proses produksi dalam perusahaan. Pemilihan alat penukar kalor yang tepat akan menghemat biaya operasional perawatan dan harian. Pada *Crude Distillation Unit 11* dalam Kilang *Fuel Oil Complex I* (FOC I) PT Pertamina RU IV Cilacap terdapat *heat exchanger* (HE) 11 E-25 dengan tipe *Shell and Tube Heat Exchanger* (STHE). *Shell and tube heat exchanger* memiliki aliran pertukaran panas yang terdiri dari sebuah shell yang berbentuk silinder dan sejumlah tube [4]. Pada HE 11 E-25, *long residu bottom product* dari *crude* Splitter 11 C-1 digunakan untuk memanaskan *crude* yang berasal dari *bottom crude* preflash drum 11 V-15 di dalam *tube side*. Selanjutnya *long residu* dari HE 11 E-25 dimanfaatkan kembali untuk memanaskan *crude* pada HE 11 E-7 di dalam *shell side*. Proses ini hampir setiap hari tanpa berhenti sehingga memungkinkan HE semakin lama akan mengalami penurunan performa dan akan mengganggu kelancaran proses produksi. Permasalahan yang terjadi pada *heat exchanger* akan sangat berpengaruh pada hasil dan efiseinsi perpindahan panas [5]. Oleh karena itu perlunya evaluasi performa pada *heat exchanger* 11 E-25. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan antara design dan aktual pada nilai koefisien perpindahan *panas clean overall* (U_c), koefisien perpindahan panas *dirty overall* (U_d), nilai *Fouling factor* (R_d), nilai *Pressure drop* (ΔP) serta nilai *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) yang mempengaruhi alat. Dimana semakin besar nilai *Log Mean Temperature Difference* (LMTD) maka semakin tidak efisien karena menyebabkan semakin banyak panas yang ditransfer dan semakin banyak biaya yang dibutuhkan [6]. Sedangkan semakin tinggi nilai *fouling factor* pada *heat exchanger* maka akan berpengaruh kepada biaya operasional dan *heat exchanger* akan mengalami penurunan efisiensi secara signifikan [7]. Sehingga perlunya evaluasi untuk menentukan apakah HE 11E-25 masih layak digunakan atau perlu *maintenance*.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian meliputi teknik pengumpulan data, perhitungan, dan metode analisis data.

Adapun tahapan penelitian ini meliputi :

2.1. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan meliputi pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer didapatkan dari data aktual di lapangan (pengukuran secara langsung) dan di *control room* FOC I unit 11 (CDU I) yang meliputi laju alir massa *inlet* di *shell* dan *tube*, *specific gravity*, dan temperatur *inlet* – *outlet* di *shell* dan *tube* dari fluida yang diketahui. Selanjutnya, pengumpulan data sekunder didapatkan dari *specification*

sheet heat exchanger 11E-25 yang meliputi data desain HE, spesifikasi bahan baku (API, viskositas, sifat khusus bahan baku dan lain-lain).

2.2. Perhitungan

Berdasarkan data yang diperoleh akan dilakukan pengolahan data dengan cara perhitungan manual sesuai metode yang terdapat dalam menurut Kern (1965) pada buku literatur process Heat Transfer [8].

1) Menghitung *Heat Balance Shell and Tube Side*

$$Q_{Shell} = W \times Cp (T1 - T2) \quad (1)$$

$$Q_{Tube} = W \times Cp (t2 - t1) \quad (2)$$

Keterangan :

Q : jumlah panas yang dipindahkan, Btu/jam

W : laju alir, lb/jam

Cp : *specific heat* fluida, Btu/lb °F

Δt : perbedaan temperatur yang masuk dan keluar, °F

2) Menghitung *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*

$$\Delta T2 = (T1 - t2) \quad (3)$$

$$\Delta T1 = (T2 - t1) \quad (4)$$

$$LMTD = \frac{\Delta T2 - \Delta T1}{LN \frac{\Delta T2}{\Delta T1}} \quad (5)$$

Faktor Koreksi :

$$R = \frac{\Delta T}{\Delta t}, \quad S = \frac{t2 - t1}{T1 - t1} \quad (6)$$

Berdasarkan Fig. 18 pada buku kern (1965) diperoleh Ft

$$LMTD_{corrected} = Ft \times LMTD \quad (7)$$

Keterangan :

T1 = suhu masuk fluida panas, °F

T2 = suhu keluar fluida panas, °F

t1 = suhu masuk fluida dingin, °F

t2 = suhu keluar fluida dingin, °F

R = *Temperature Group, dimensionless*

S = *Temperature Group, dimensionless*

Ft = *Temperature Difference Factor, dimensionless*

3) Menghitung Kalorik Temperatur

$$\Delta th = T1 - t2 \quad (8)$$

$$\Delta t_c = T_2 - t_1 \quad (9)$$

$$\Delta T_h = T_1 - T_2 \quad (10)$$

$$\frac{\Delta t_c}{\Delta T_h} \quad (11)$$

Berdasarkan Fig. 17 Kern (1965) diperoleh K_c dan F_c

$$T_c = T_2 + (f_c \times (T_1 - T_2)) \quad (12)$$

$$t_c = t_1 + (f_c \times (t_2 - t_1)) \quad (13)$$

- 4) Menghitung *Flow Area Shell and Tube Side*
Shell Side

$$C' = (\text{Pitch} - OD) \quad (14)$$

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times Pt} \quad (15)$$

Tube Side

Berdasarkan Tabel. 10 Kern diperoleh, $a't$

$$a_t = \frac{Nt \times a't}{144 \times n} \quad (16)$$

Keterangan :

- a_s : flow area shell side, ft²
 ID : inside diameter shell, inch
 C' : tube clearance, inch
 B : baffle spacing, inch
 Pt : pitch tube, inch
 a_t : flow area tube side per pass, ft²
 Nt : jumlah tube
 $a't$: flow area per tube, in²
 n : jumlah pass tube side

- 5) Menghitung *Mass Velocity Shell and Tube Side*
Shell Side

$$G_s = \frac{W_s}{a_s} \quad (17)$$

Tube Side

Berdasarkan Tabel. 10 Kern diperoleh, $a't$

$$G_t = \frac{W_t}{a_s} \quad (18)$$

Keterangan :

Gs : *mass velocity per cross section area shell side*, lbm/jam.ft²

Ws : *mass flow pada shell side*, lbm/jam

as : *flow area shell side*, ft²

Gt : *mass velocity per cross section area tube*, lbm/jam.ft²

Wt : *mass flow pada tube side*, lbm/jam

at : *flow area tube side*, ft²

6) Menghitung Bilangan *Reynold Shell and Tube Side*

Shell Side

Pada Tc, dari interpolasi diperoleh harga μ

Dari Fig.28 Kern (1965) diperoleh harga De

$$Gs = \frac{Ws}{as} \quad (19)$$

Tube Side

Pada tc, dari ekstrapolasi diperoleh harga μ

Dari Tabel 10 Kern (1965) diperoleh harga D

$$Ret = \frac{D \times Gt}{\mu} \quad (20)$$

Keterangan :

Res : bilangan *reynold* fluida dalam *shell*

De : diameter ekuivalen *shell side*, ft

Gs : *mass velocity per cross section area shell side*, lbm/jam.ft²

μ : viskositas fluida *shell side* pada temperatur Tc, lbm/jam.ft

Ret : Bilangan Reynold fluida dalam *tube*

D : diameter *tube*, ft

Gt : *mass velocity per cross section area tube*, lbm/jam.ft²

μ : viskositas fluida *tube side* pada temperatur Tc, lbm/jam.ft

7) Menghitung Faktor Perpindahan Panas *Shell and Tube Side*

Shell Side

Dari Fig. 28 Kern (1965) diperoleh JH

Tube Side

Dari Fig. 24 kern (1965) diperoleh JH

8) Menghitung Koefisien Perpindahan Panas

Shell Side

Dari Fig. 1 Kern (1965) diperoleh harga K

$$hi = jH \frac{k}{D} \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (21)$$

Tube Side

Dari Fig. 1 Kern (1965) diperoleh harga K

$$hi = jH \frac{k}{D} \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (22)$$

Keterangan :

jH : factor perpindahan panas

De : diameter ekuivalen *shell side*, ft

D : diameter ekuivalen *tube side*, ft

k : *thermal conductivity shell and tube side*, Btu/jam.ft. °F

c : *specific heat fluida dalam shell and tube side* pada suhu Tc, Btu/lbm.°F

μ : viskositas fluida *shell and tube side* pada temperatur Tc, lbm/jam.ft

μw : viskositas fluida pada suhu dinding *tube*, lbm/jam.ft

9) Menghitung *Tube Wall* Temperatur

$$hio/\phi_t = \frac{hi \times D}{\phi_t \times OD} \quad (23)$$

$$tw = tc + \frac{\frac{hi}{\phi_s}}{\frac{hio}{\phi_t} + \frac{ho}{\phi_s}} \quad (24)$$

10) Menghitung *Corrected Viscosity Shell and Tube Side***Shell Side**

Pada tw, dari interpolasi diperoleh harga μw,

$$\phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (25)$$

Tube Side

Pada tw, dari ekstrapolasi diperoleh harga μw,

$$\phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad (26)$$

11) Menghitung *Corrected Coefficient***Shell Side**

$$ho = \frac{ho \times \phi_s}{\phi_s} \quad (27)$$

Tube Side

$$hio = \frac{hio \times \phi_t}{\phi_t} \quad (28)$$

12) Menghitung *Clean Overall Coefficient*

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (29)$$

Keterangan :

h_{io} : Koefisien perpindahan panas konveksi *inside*, Btu/jam.ft².°F

h_o : Koefisien perpindahan panas konveksi *outside*, Btu/jam.ft².°F

13) Menghitung Design Overall Coefficient Shell and Tube Side

Dari Tabel. 10 Kern diperoleh, a''

Total Surface,

$$A = a'' \times L \times N_t \quad (30)$$

Keterangan :

N_t : jumlah tube

L : panjang tube

a'' : luas permukaan luar tube, ft²/ft

Shell Side

$$U_d = \frac{Q_{\text{Shell}}}{A \times \text{LMTD}_{\text{corrected}}} \quad (31)$$

Tube Side

$$U_d = \frac{Q_{\text{Tube}}}{A \times \text{LMTD}_{\text{corrected}}} \quad (32)$$

Keterangan :

$\text{LMTD}_{\text{corrected}}$: LMTD terkoreksi, °F

A : luas permukaan perpindahan panas, ft²

14) Menghitung *Fouling Factor Shell and Tube Side***Shell Side**

$$R_d \text{ Shell} = \frac{U_c - U_d \text{ Shell}}{U_c \times U_d \text{ Shell}} \quad (33)$$

Tube Side

$$R_d \text{ Tube} = \frac{U_c - U_d \text{ Tube}}{U_c \times U_d \text{ Tube}} \quad (34)$$

Keterangan :

R_d : *Fouling factor*, jam.ft².°F/Btu

U_c : *clean overall heat transfer coefficient*, Btu/jam.ft².°F

U_d : *design overall heat transfer coefficient*, Btu/jam.ft².°F

15) Menghitung *Pressure Drop***Shell Side**

Dari Fig. 29 Kern diperoleh f ,

$$\Delta P_{Shell} = \frac{f \times G_s^2 \times ID \times (N + 1)}{5,225 \times 10^{10} \times De \times SG_s \times \varphi_s} \quad (35)$$

Keterangan :

ΔP_s : *shell side pressure drop*, psi

f : *friction factor*

s : *specific gravity*

N+1 : *jumlah cross*

G_s : *Diameter dalam shell*, ft

De : *diameter ekuivalen*, ft

Tube Side

Dari Fig. 26 Kern diperoleh f ,

$$\Delta P_{Tube} = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,225 \times 10^{10} \times I_d \times SG_s \times \varphi_s} \quad (36)$$

Dari Fig. 27 Kern diperoleh,

$$\frac{(v^2)}{2g} \quad (37)$$

$$\Delta P_r = \frac{4n \times v^2}{s \times 2g} \quad (38)$$

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_t + \Delta P_r \quad (39)$$

Keterangan :

ΔP_t : *tube side pressure drop*, psi

ΔP_r : *return pressure drop*, psi

f : *friction factor*

s : *specific gravity*

n : *jumlah lintasan tube (pass)*

D : *diameter dalam tube*, ft

v : *velocity*, fps

L : *panjang tube*

ΔP_T : *total tube pressure drop*, psi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi alat dan *design* operasi *Heat Exchanger* HE 11E-25 yang digunakan pada PT PERTAMINA RU IV Cilacap dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1. Data spesifikasi alat HE 11E-25

HE 11E-25	Shell		Tube		Satuan
	Notasi	Dimensi	Notasi	Dimensi	
Fluida	Long Residu		Arabian Light Crude		
	Ws	520738,477	Wt	1289250,08	Lb/hr
Suhu Masuk	T1	681,8	t1	408,2	°F
Suhu Keluar	T2	579,2	t2	453,2	°F
Beda Suhu	ΔT	102,6	Δt	45	°F

Tabel 2. Data design operasi alat HE 11E-25

HE 11E-25	Shell			Tube		
	Notasi	Satuan	Dimensi	Notasi	Satuan	Dimensi
Dimensi Luar				OD	Inch	0,75
Dimensi Dalam	ID	Inch	44			
Jumlah Pass	N	Unit	1	N	Unit	-
BWG						14
Jarak antar Tube				C'	Inch	0,25
Panjang Tube				L	Ft	20
Jumlah Tube				Nt	unit	1060
Pitch				Pt	Inch	1
Jarak Antar Baffle	B	Inch	19,685			
Surface per lin ft, ft2				a'	Inch2	0,286
Flow Area	As	Ft2	1,504	At	Ft2	0,987

Data aktual yang diambil dari tanggal 4 mei 2022 – 15 mei 2022 dapat dilihat pada Tabel 3, sedangkan hasil evaluasi HE 11E-25 PT PERTAMINA RU IV dapat dilihat pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 3. Data aktual performa heat exchanger (4 Mei 2022 – 15 Mei 2022)

No	Tanggal	t1 (°C)	t2 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	Wt (kg/Hari)	Ws (kg/hari)
1	5/4/2022	214,55	217,7	339,96	319,815	11146,68	6174,069958
		212,09	215,54	339,53	319,385	11120,72	6282,803782
2	5/5/2022	212,52	215,29	339,54	319,395	11119,8	6195,519485
		213,39	216,01	339,71	319,565	11120,82	6158,354942
		213,29	215,76	339,68	319,535	11120,33	6184,334147
3	5/6/2022	213,46	215,67	339,8	319,655	11120,57	6147,70849
		213,85	215,83	339,77	319,625	11120,84	6095,23947
		213,48	215,53	339,31	319,165	11123,83	6136,927959
4	5/7/2022	213,2	215,28	339,39	319,245	11124,8	6102,598397
		213,88	215,83	339,36	319,215	11124,78	6098,879174
		211,34	214,27	339,31	319,165	11096,4	6145,970839
5	5/8/2022	208,95	212,13	338,46	318,315	10641,95	6051,626155
		214,24	215,79	338,7	318,555	10579,76	5969,111969
		216,18	217,78	338,7	318,555	10941,59	6043,231575
6	5/9/2022	211,13	213,35	338,87	318,725	10914,97	6161,67658

No	Tanggal	t1 (°C)	t2 (°C)	T1 (°C)	T2 (°C)	Wt (kg/Hari)	Ws (kg/hari)
7	5/10/2022	205,92	208,49	335	314,855	10938,02	6224,681687
		213,26	216,93	338,54	318,395	10993,24	6438,99871
		213,1	216,29	338,81	318,665	11075,3	6298,171224
		212,57	216,48	338,78	318,635	11119,16	6328,088459
8	5/11/2022	212,82	216,24	338,6	318,455	11118,65	6410,05598
		212,98	215,86	338,49	318,345	11137,45	6395,821228
		212,99	216,07	338,21	318,065	11250,11	6336,213106
9	5/12/2022	212,92	215,93	337,66	317,515	11216,74	6531,868414
		212,8	216,37	337,72	317,575	11240,12	6480,939436
		213,01	216,24	337,44	317,295	11128,97	6424,288016
10	5/13/2022	213,15	216,14	336,66	316,515	11120,61	6391,626605
		213,3	216	335,88	315,735	11120,15	6134,681181
		213,65	216,25	336,09	315,945	11119,36	5900,09137
11	5/14/2022	214,48	216,38	336,1	315,955	11111,58	5835,485512
		214,69	216,73	336,65	316,505	11160,53	5832,152468
		213,46	215,95	337,17	317,025	11141,45	5948,946414
12	5/15/2022	209,01	213,29	337,31	317,165	11029,71	6165,81455
		214,12	216,91	337,96	317,815	11160,83	6329,421458
Rata-rata		195,105	197,620	310,088	291,622	10155,5506	5676,5389

(lanjutan)

Tabel 4. Hasil evaluasi HE 11E-25

Performance of Unit	Design				Aktual			
	Shell Side		Tube Side		Shell Side		Tube Side	
	Long Residu Inlet	Outlet	Preflashed Crude Inlet	Outlet	Long Residu Inlet	Outlet	Preflashed Crude Inlet	Outlet
Flow Rate (Lb/hr)	520738,477		1289250,08		522124,6186		934101	
Temperature (°F)	681,8	579,2	408,2	453,2	590,158	556,918	383,189	387,715
Specific Heat (Btu/lb°F)	0,71		0,678		0,67		0,63	
Viscosity (Cp)	0,765		0,575		0,777		0,628	
Fouling Factor (ft ² hr F/Btu)	0,0072		0,0065		0,0507		0,2722	
Pressure drop (Psi)	2,6891		8,552		2,7623		5,649	

3.1. Fouling Factor (Rd)

Fouling Factor merupakan besaran ketahanan suatu alat *heat exchanger* dari zat pengotornya yang dapat dijadikan suatu parameter dalam menunjukkan besarnya faktor pengotor tersebut pada *heat exchanger* yang diakibatkan oleh lapisan (kotoran) yang memberikan nilai tahanan tambahan kepada laju fluida panas. Sehingga dapat menyebabkan penurunan nilai koefisien transfer panas keseluruhan (U) dan panas pada luas permukaan yang sesungguhnya tidak mendapatkan panas yang dibutuhkan [8]. Nilai Rd (*fouling factor*) juga disebabkan oleh gesekan antara dinding pipa *heat exchanger*

dengan fluida. Hasil evaluasi menunjukkan nilai *Fouling factor* (Rd) pada data *design shell side* dan *tube side* sebesar 0,0072 ft² hr F/Btu dan 0,0065 ft² hr F/Btu. Perbandingan dari data aktual yang diambil pada tanggal 4 Mei 2022 – 15 Mei 2022 menunjukkan hasil *fouling factor* (Rd) pada *shell side* dan *tube Side* sebesar 0,0507 ft² hr F/Btu dan 0,2722 ft² hr F/Btu sehingga terjadilah penurunan perpindahan panas *crude* (*Arabian Light Crude*). Hal ini disebabkan oleh gaya gesek antara fluida dengan dinding pipa *heat exchanger*. Untuk mengembalikan fungsinya agar performa dari *heat exchanger* Kembali optimal maka perlu dilakukan pembersihan pada saat *plant stop*. Jika Rd Perhitungan lebih besar daripada Rd desain, maka HE perlu dilakukan pembersihan [8]. Nilai Rd di bawah batas minimum akan menyebabkan resistensi tambahan terhadap perpindahan panas atau energi [9]. Besarnya Rd juga disebabkan oleh kerak pada tabung atau cangkang yang membentuk lumut sehingga menghambat transfer panas [10]. Dapat diketahui bahwasanya kinerja dari HE 11E-25 berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan dimana meningkatnya nilai Rd menandakan terdapat akumulasi endapan, *scale*, dan *fouling* di dalam *shell side* dan *tube side* sehingga perlu dilakukan *cleaning* (pembersihan). Selain itu, *fouling* dapat terjadi karena korosi yang disebabkan adanya karat pada logam [11]. Semakin tinggi nilai *fouling factor* (Rd), semakin berkurang efisiensi alat penukar panas tersebut [12].

3.2. Pressure Drop

Pressure drop adalah penurunan tekanan dari satu titik di dalam system ke titik lain yang memiliki tekanan lebih rendah yang mana *Pressure drop* dihasilkan dari gaya-gaya gesekan terhadap fluida yang mengalir di dalam suatu pipa yang disebabkan oleh tahanan mengalirnya fluida [13]. Penurunan tekanan di *shell side* maupun *tube side* tidak diperkenankan melebihi batas *Pressure drop* yang diperbolehkan, sehingga untuk mengetahuinya seberapa besar fluida yang mampu mempertahankan tekanan yang telah dimiliki selama fluida mengalir dari dalam bagian *shell side* maupun *tube side* pada alat *heat exchanger* maka dibandingkan dengan *Pressure drop design* pada *heat exchanger* tersebut. Dari perhitungan data design HE 11E-25 menunjukkan nilai *Pressure drop* pada *shell side* dan *tube side* sebesar 2,6891 Psi dan 8,552 Psi, sedangkan pada perhitungan data aktual HE 11E-25 yang diambil pada tanggal 4 Mei 2022 - 15 Mei 2022 menunjukkan nilai *Pressure drop* pada *shell side* dan *tube side* sebesar 2,7623 Psi dan 5,649 Psi. Dapat dibandingkan bahwa nilai *Pressure drop* pada *shell side* design sedikit lebih besar daripada nilai *Pressure drop* pada *shell side* aktual hal ini disebabkan adanya *carry over* produk sedikit korosi, *fouling*, dan *scaling* pada *shell side* sehingga telah mengurangi luas permukaan transfer panas dan transfer panas sedikit kurang optimal. Peningkatan *Pressure drop* terjadi karena adanya penumpukan kotoran di dalam pipa atau ruang dalam penukar panas. Seiring berjalannya waktu, penurunan tekanan semakin lama akan semakin besar karena faktor penumpukan kotoran mendekati jenuh atau melebihi batas 10% dari desain yang telah ditentukan [14]. Namun berbeda dengan hasil pada *tube side* yang menunjukkan nilai *Pressure drop tube side* aktual lebih kecil dibandingkan nilai *Pressure drop tube side design* walaupun laju alir pada *tube side* aktual lebih kecil dibandingkan laju alir *tube side design* tetapi nilai *Pressure drop* masih berada dibawah batasan yang ada. Hal tersebut dikarenakan adanya kemampuan fluida yang mengalir dalam mempertahankan tekanan sehingga penurunan tekanan tidak terlalu besar.

Pressure drop juga dapat mempengaruhi efisiensi pada *heat exchanger* [14]. Jarak *baffle* pada *heat exchanger* yang kurang memadai dapat mengakibatkan kenaikan *Pressure drop* pada *shell and tube heat exchanger* [15]. Jarak *baffle* akan mempengaruhi pola pembentukan deposit padatan pada titik tertentu yang mengakibatkan *Pressure drop* naik [9]. Penurunan efisiensi perpindahan panas menunjukkan adanya kehilangan panas ke lingkungan, sehingga energi panas aktual yang dimiliki oleh fluida panas lebih kecil daripada jumlah panas yang dimilikinya. Selain itu, penurunan efisiensi pada penukar panas juga dipengaruhi oleh *pressure drop*, koefisien perpindahan panas, laju aliran massa fluida, dan tingkat kekotoran di dalam penukar panas [16]. Efisiensi *heat exchanger* dapat diperbesar dengan cara menaikkan atau memperbesar laju alir fluida dingin [15]. dalam hal ini *arabian light crude* (ALC) bertindak sebagai fluida dingin sehingga laju alir sama dengan laju alir pada *design*.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, nilai *Fouling Factor* (Rd) pada *shell side* dan *tube side actual* sebesar 0,0507 dan 5,649 telah melebihi batas yang diizinkan yaitu pada nilai Rd batas/design pada *shell* dan *tube* sebesar 0,0072 dan 0,0065 sehingga menyebabkan penurunan performa HE 11E-25 sehingga perlu adanya *cleaning* (Pembersihan) pada saat *Plant Stop*. Nilai *Pressure drop* pada *shell side* dan *tube side* kondisi aktual sebesar 2,6891 Psi dan 8,552 Psi. Sedangkan Nilai *Pressure drop* pada *shell side* dan *tube side design* sebesar 2,7623 Psi dan 5,649 Psi. Hal ini menunjukkan bahwa pada *shell side* telah terjadi *fouling* karena nilai *Pressure drop actual* lebih besar daripada nilai *Pressure drop design*. Namun pada *tube side* nilainya masih dibawah batas, hal ini dikarenakan adanya kemampuan fluida yang mengalir dalam mempertahankan tekanan sehingga penurunan tekanan tidak terlalu besar.

Setelah mengevaluasi kinerja HE 11E-25 pada CDU I PT Pertamina (Persero) Cilacap pada tanggal 04 Mei 2022 - 15 Mei 2022 perlu dilakukan beberapa hal yaitu HE 11E-25 perlu dilakukan evaluasi dan pembersihan (*Cleaning*) secara berkala terhadap akumulasi kotoran, lumpur, kerak yang terdapat pada dinding *shell* dan *tube* untuk mempertahankan performa *heat exchanger* tersebut. Meninjau kondisi operasi seperti laju alir fluida maupun kondisi alat HE 11E-25 meliputi faktor friksi dan faktor *fouling* pada pipa untuk mengontrol *Pressure drop* pada *shell* dan *tube* supaya nilai *Pressure drop* tidak melebihi batas yang diizinkan atau nilai *Pressure drop* sesuai perhitungan design.

REFERENSI

- [1] F. Ekasari, R. Effendi, E. Iskandar, "Pengendali Temperatur Fluida pada Heat Exchanger dengan Menggunakan Algoritma *Model Predictive Control* (MPC)," *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 3, no. 1, hal. 134–139, 2014.
- [2] P. Bichkar, O. Dandgaval, P. Dalvi, R. Godase, dan T. Dey, "Study of Shell and Tube Heat Exchanger with the Effect of Types of Baffles," *Procedia Manufacturing*, 20, hal. 195–200, 2018.
- [3] 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.

- [4] A. Budiman, A. Syarief, dan H. Isworo, "Analisis Perpindahan Panas dan Efisiensi Efektif *High Pressure Heater* (HPH) di PLTU Asam-Asam," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Unlam*, vol. 3, no. 2, hal. 76–82, 2014.
- [5] M. Mufid, A. Rahman Hakim, dan B. Widiono, "Pengaruh *Pitch Turbulator* terhadap NTU pada *Double Pipe Heat Exchanger*," *Jurnal Teknik Kimia Lingkungan*, vol. 3, no. 1, hal. 27–33, 2019.
- [6] Azwinur dan Zulkifli, "Kaji Eksperimental Pengaruh Baffle pada Alat Penukar Panas Aliran Searah dalam Upaya Optimasi Sistem Pengering," *Sintek Jurnal*, vol. 13, no. 1, hal. 8–14, 2019.
- [7] J. Sudrajat, "Analisis Kinerja *Heat Exchanger Shell & Tube* pada Sistem Cog Booster di *Integrated Steel Mill Krakatau*," *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*, vol. 6, no. 3, hal. 174–181, 2017.
- [8] D. Q. Kern, "Process Heat Transfer," Singapore: McGraw Hill Book Company, Edisi 1, 1965.
- [9] 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, hal. 563–568, 2018.
- [10] A. Nurrahman dan A. Mokhtar, "Evaluasi Kinerja *Heat Exchanger Shell And Tube* Sebagai Pemanasan Awal pada Industri Migas," *Seminar Keinsinyuran*, hal. 92–98, 2022.
- [11] R. D. P. Nugroho, S. Rulianah, Raharjo, dan C. Sindhuwati, "Evaluasi Faktor Kekotoran Pada Heat Exchanger-03 Crude Distillation Unit Di PPSDM Migas Cepu," *Distilat Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 1, hal. 64–71, 2021.
- [12] 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. 55–61, 2022.
- [13] C. J. Geankoplis, "Transport Processes and Unit Operations," New Jersey: Prentice-Hall International, Edisi 3, 1993.
- [14] Q. W. Wang, G. D. Chen, J. Xu, dan Y. P. Ji, "Second-Law Thermodynamic Comparison and Maximal Velocity Ratio Design of Shell-and-Tube Heat Exchangers with Continuous Helical Baffles," *Journal of Heat Transfer*, vol. 132, no. 1, hal 1–9, 2010.
- [15] J. C. Lemos, A. L. H. Costa, dan M. J. Bagajewicz, "Linear Method For The Design Of Shell And Tube Heat Exchangers Including Simple Fouling Modeling," *Applied Thermal Engineering Journal*, vol. 125, no. 3, hal. 1345–1353, 2017.
- [16] B. Yunianto, D. Cahyo, dan Arijanto, "Pengaruh Perubahan Debit Aliran Fluida Panas dan Fluida Dingin terhadap Efektivitas pada Penular Kalor Tipe Plat Aliran Silang," *Rotasi*, vol. 13, no. 1, hal. 13–16, 2011.