

Fouling Factor Penukar Panas Shell and Tube melalui Program Heat Transfer Research Inc (HTRI)

(Shell and Tube Heat Exchanger Fouling Factor via Heat Transfer Research Inc (HTRI) Software)

Ismi Ari Fitria¹, Dessy Agustina Sari^{1*}, Vera Pangni Fahriani¹, Mohammad Djaeni²

¹ Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jalan HS Ronggowaluyo Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat, Indonesia 41361

² Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jalan Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275

ARTICLE INFO

Article history

Received : 20 July 2022

Revised : 29 August 2022

Accepted : 09 September 2022

DOI :

<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4030>

Keywords :

condensor; fouling factor; heat exchanger; HTRI; shell and tube.

*e-mail corresponding author :

dessy.agustina8@staff.unsika.ac.id

ABSTRAK

Salah satu pabrik pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) menggunakan heat exchanger tipe *shell and tube* sebagai kondensor. *Heat exchanger* (HE) *shell and tube* terdiri dari sekumpulan *tube* berdiameter kecil yang disusun di dalam *shell* berbentuk silindris. Pada bagian *tube* dan *shell* akan dialirkan fluida panas (etanol) dan dingin (air) agar terjadi proses perpindahan panas secara tidak langsung. Penggunaan *heat exchanger* secara berkala akan mengurangi kinerja alat. Hal tersebut disebabkan oleh adanya lapisan *fouling* yang terus meningkat di bagian dalam HE sehingga alat akan bekerja lebih berat dan proses perpindahan panas tidak maksimal. Untuk mengatasi fenomena tersebut maka perlu dilakukan analisis kinerja *heat exchanger* menggunakan parameter nilai *fouling factor* (Rd). *Fouling factor* dapat dihitung menggunakan metode perhitungan manual (melalui metode Kern) dan penggunaan program HTRI. Keterlibatan persamaan matematis pada metode pertama akan dikonfigurasi hasil perhitungannya melalui simulasi proses pada *software* HTRI. Kedua metode digunakan untuk kalibrasi antara perhitungan manual dengan *software* HTRI atas nilai Rd yang didapatkan. Hasil analisis perhitungan dengan kedua metode tersebut menghasilkan penurunan kinerja alat dengan nilai *fouling factor* sebesar 0,011 Btu/(jam.ft².°F).

PENERBIT

UNITRI PRESS

Jl. Telagawarna, Tlogomas-
Malang, 65144, Telp/Fax:
0341-565500



This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA

ABSTRACT

One of the factories for manufacturing Carboxymethyl Cellulose (CMC) uses a shell and tube-type heat exchanger as a condenser. The shell and tube (HE) heat exchanger consists of small diameter tubes arranged in a cylindrical shell. In the tube and shell sections, hot (ethanol) and cold (water) fluids will flow so that heat transfer occurs directly. The use of heat exchangers regularly will reduce the performance of the tool. Due to the increasing fouling layer inside the HE, the device will work harder, and the heat process could be more optimal. It is necessary to analyze the performance of the heat exchanger using the parameter value of the fouling factor (Rd). The fouling factor can be calculated using the manual calculation method (via the Kern method) and the HTRI program. The involvement of the mathematical equation in the first method will be configured for the calculation results through process simulation in the HTRI software. Both ways are used for calibration between manual calculations and the HTRI software for the Rd values obtained. The fouling factor can be calculated using the manual method and HTRI software. The two methods used for calibration are manual calculations with HTRI software. The results from this analysis give a decrease in tool performance with a fouling factor of 0,01 Btu/(h.ft².°F).

Cara Mengutip : Fitria, I.A., Sari, D.A., Fahriani, V.P., Djaeni, M. (2022). Shell and Tube Heat Exchanger Fouling Factor via Heat Transfer Research Inc (HTRI) Software. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 7(2), 104-113. doi:<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4030>

1. PENDAHULUAN

Perpindahan panas merupakan suatu proses terpenting bagi sebagian besar industri, khususnya industri kimia untuk mengatur tinggi rendahnya temperatur agar proses produksi terus berjalan sesuai kebutuhan. Proses perpindahan panas dapat dilakukan menggunakan alat penukar panas yaitu *heat exchanger*. *Heat exchanger* (HE) adalah suatu alat penukar panas untuk mengubah suhu dan fasa fluida [1]. Prinsip kerja HE yaitu dua jenis fluida dengan temperatur berbeda dialirkan menuju HE dan terjadi perpindahan panas secara langsung maupun tidak langsung [2]. HE digunakan secara luas di industri kimia, salah satunya pabrik pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) yang menggunakan tipe penukar panas *shell and tube* sebagai kondensor. Tipe tersebut paling umum digunakan di industri kimia karena memiliki kelebihan dari segi biaya, fabrikasi, dan kerja. Tipe ini secara konstruksi memiliki ciri khas adanya susunan dari beberapa tube yang dipasang di dalam *shell* berbentuk silinder dimana perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida tidak melalui kontak langsung [3].

Menurut peneliti [4], tipe *shell and tube* sering digunakan di berbagai industri karena rasio luas permukaan perpindahan panas yang lebih besar, diproduksi berbagai ukuran dan aliran yang lebih mudah, dapat beroperasi tekanan tinggi, efisiensi yang tinggi, luas permukaan besar pada ukuran volume kecil. Selain itu, tipe tersebut memiliki konstruksi yang dapat dilepas antara satu dengan lain karena tidak dalam satu kesatuan, sehingga lebih mudah dalam perawatan alat [5]. Dari segi kegunaan, alat ini dapat dimanfaatkan dalam proses pendinginan, pembangkit listrik, pendinginan udara, dan proses kimia lainnya [6].

Penggunaan *heat exchanger* secara terus menerus akan mempengaruhi kinerja alat tersebut. Semakin lama alat tersebut digunakan akan menimbulkan pengotoran atau *fouling* pada bagian dalam alat. Pengotor tersebut akan terus menumpuk hingga membentuk suatu lapisan pengotor yang menyebabkan tahanan termal dan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* menurun dari semula [7, 8]. *Fouling* didefinisikan sebagai pembentukan lapisan deposit pada permukaan perpindahan panas dari suatu bahan atau senyawa yang tidak diinginkan dan akan terus bertambah selama *heat exchanger* dioperasikan [9]. Indikator ini merupakan suatu nilai yang menunjukkan besarnya hambatan akibat adanya kotoran yang terbawa oleh fluida saat mengalir di dalam HE. Lapisan *fouling* sangat kompleks sehingga sulit untuk dianalisis secara analitik. Nilai R_d ini dapat diketahui melalui perhitungan secara matematis dan perhitungan *software* keteknikkimiaan. Analisis perpindahan panas HE berguna untuk mengetahui performa atau kinerja HE. Pihak industri terkait dapat melakukan perawatan HE secara berkala apabila *fouling* pada HE jika sudah melebihi batas yang diizinkan.

Beberapa peneliti telah melakukan evaluasi kinerja HE dengan menghitung *fouling factor* (R_d) secara manual yakni menggunakan metode Kern. Perhitungan secara manual memiliki resiko *human error* yang lebih tinggi, sehingga pihak industri membutuhkan bantuan lain untuk memastikan perhitungan tersebut. Peneliti [9, 10] menyatakan bahwa ada empat metode perhitungan penukar panas *shell and tube* yaitu metode Kern, ASPEN *simulation software*, HTRI *simulation software*, dan solidworks *simulation software*.

Peneliti [10] juga menyatakan bahwa penggunaan Aspen juga disarankan untuk dipahami bagi mahasiswa semester awal Teknik Kimia. Namun, kajian alat kondensor di industri CMC ini lebih sesuai dimanfaatkan oleh *process engineer* untuk menganalisis nilai *fouling factor heat exchanger* tipe *shell and tube*. Tindakan ini juga dilanjutkan oleh perbandingan hasil perhitungan melalui metode Kern yang dikalibrasi dengan hasil simulasi proses.

Peneliti [8, 9] turut meninjau kinerja alat penukar panas melalui metode Kern dari sisi nilai L_{MTD} untuk mendapatkan nilai akhir R_d . Keberlanjutan temuan tersebut menjadi penanganan pemanfaatan persamaan matematis yang melibatkan peran kurva dan grafik secara manual. Kemungkinan kesalahan dan *error* atas pembacaan manual menjadi peluang peran penggunaan *software* seperti HTRI sebagai pembanding atau kalibrasi hasil dari metode Kern [12].

2. METODE PENELITIAN

Proses dan tahapan yang dilakukan dalam penelitian berupa:

- 1) Kajian studi literatur terkait peralatan penukar panas tipe *shell and tube*
- 2) Pengambilan data berupa desain dan kinerja peralatan di lapangan proses
- 3) Pengukuran awalan melalui nilai L_{MTD}
- 4) Pengolahan data melalui pemanfaatan persamaan matematis – metode Kern dan kroscek silang dengan hasil penggunaan simulasi proses pada program HTRI
- 5) Perolehan nilai pengotor pada peralatan penukar panas dan membandingkan kinerja dari langkah ke-4
- 6) Tindakan lanjut dari hasil temuan kinerja alat *shell and tube*

Kajian literatur untuk memperoleh nilai yang digunakan untuk perhitungan manual menggunakan buku *Process Heat Transfer* [12] dan *software* yang digunakan yaitu *Heat Transfer Research Inc* (HTRI).

Data – data yang dibutuhkan meliputi data spesifikasi desain dan data pengamatan atau lapangan dari *heat exchanger shell and tube* di salah satu pabrik pembuatan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) di Indonesia yang ditunjukkan pada Tabel 1 berikut. Data yang tersaji di Tabel 1 dimanfaatkan ke sejumlah persamaan matematis untuk menerapkan langkah analisis melalui perhitungan secara manual.

Tabel 1. Spesifikasi kondensor di pabrik CMC

<i>Tube Side</i>		<i>Shell Side</i>	
BWG	16 in	<i>Pass shell</i>	1
<i>Pass tube</i>	4	Diameter dalam (ID_{shell})	13,2677 in
Diameter dalam (ID_{tube})	0,8661 in	Jarak antar <i>Baffle</i> (B)	6,63385 in
Diameter luar (OD_{tube})	25,44 mm		
Panjang (L)	2500 mm		
Jenis	<i>square pitch</i>		
<i>Pitch</i> (P_T)	1,25 in		
Jumlah <i>tube</i> (N_t)	26		

Overall			
<i>Rd allowable</i>	0,0003		
<i>TEMA type</i>	BEU		
<i>Material</i>	SA-240 316 PL S31600		
Aliran Fluida Panas (Shell Side), °C		Aliran Fluida Panas (Tube Side), °C	
T_{in} atau T_1	55,6	T_{in} atau t_1	29,3
T_{out} atau T_2	48,8	T_{out} atau t_2	34
T_{avg}	52,2	T_{avg}	31,65
Debit (V)	6,03 m ³ /jam		
Konsentrasi	60%		

Nilai perpindahan panas (Q) merupakan laju perpindahan panas (BTU/jam), m merupakan laju alir fluida (kg/jam). C_p merupakan kapasitas panas (J/kg.K) dan ΔT adalah selisih suhu. Hukum kekekalan energi mengatakan bahwa persamaan laju perpindahan panas keluar sama dengan laju perpindahan panas masuk, sehingga Q_{air} memiliki nilai yang sama besar dengan Q_{etanol} .

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

Nilai L_{MTD} dan L_{MTD} Koreksi. Perbedaan nilai suhu pada HE yang sangat bergantung dari perbedaan suhu fluida panas dan dingin disebut *Log Mean Temperature Difference* (LMTD).

$$L_{MTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln(T_1 - t_2)/(T_2 - t_1)} \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) didapatkan hasil nilai L_{MTD} sebesar 36,9578°F. Untuk mencari L_{MTD} koreksi (Δt) menggunakan persamaan (3) berikut ini.

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} ; S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} ; L_{MTD \text{ koreksi}} = L_{MTD} \times F_T \quad (3)$$

Diperoleh nilai R dan S sebesar 1,447 dan 0,179 secara berturut-turut. Berdasarkan data Kern, nilai F_T sebesar 0,98 melalui bantuan kurva antara parameter R dan S [12] dan nilai $L_{MTD \text{ koreksi}}$ menjadi 36,2186°F. Perhitungan selanjutnya baik di *shell* dan *tube* terangkum di persamaan (4) hingga (14) berikut ini.

Sisi Shell			Sisi Tube		
<i>Flow area, a_s</i>	$a_s = ID \times \frac{C'' \times B}{P_T}$	(4)	<i>Flow area, a_t</i>	$a_t = \frac{N_t a'_t}{144n}$	(8)
<i>Mass velocity, G_s</i>	$G_s = \frac{W}{a_s}$	(5)	<i>Mass Velocity, G_t</i>	$G_t = \frac{W}{a_t}$	(9)

Bilangan Reynold	$Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu}$	(6)	Bilangan Reynold	$Re_t = \frac{D \times G_t}{\mu}$	(10)
Koefisien Transfer Panas, h_o	$\frac{h_o}{\phi_s} = jH \frac{k}{D} \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$	(7)	Koefisien Transfer Panas	$h_i = jH \frac{k}{D} \left(\frac{c\mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \phi_t$	(11)
				$\frac{h_{io}}{\phi_t} = \frac{h_i}{\phi_t} \times \frac{ID}{OD}$	
Clean overall coefficient, U_C	$U_C = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$	(12)	Heat transfer area, A	$A = a'' \times L \times N_t$	(13)
Design overall coefficient, U_D	$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t}$	(14)	Fouling factor, R_d	$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D}$	(14)

Keterangan: **Sisi Shell.** ID = diameter dalam, C = clearance between tubes, (pitch tube – OD_{Tube}), B = baffle spacing, P_T = pitch tube, W dan w = weight flow in general, weight flow of hot fluid, a_s = flow area shell, De = diameter ekivalen diperoleh dari Kern, μ = viskositas, h_o = koefisien transfer panas di shell, jH = faktor perpindahan panas, k = konduktifitas termal, c = Spesifik panas, φ = viscosity ratio. **Sisi Tube.** N_t = jumlah tube, n = Jumlah pass, a_t = flow area per tube, w = weight flow of col fluid, at = flow area tube, D = diameter dalam tube, G_t = mass velocity tube, L = panjang tube.

Berdasarkan Tabel 10 Kern, nilai a_t untuk shell and tube yang memiliki BWG 16 dan OD 1 adalah 0,595 in² [12].

PENGUNAAN PROGRAM HTRI

Perhitungan HTRI membutuhkan beberapa data yang telah diketahui seperti suhu, laju alir fluida, dan data desain heat exchanger shell and tube berdasarkan standar TEMA dan Kern. Pertama, *Input Summary*. Pada tahap ini HTRI akan memberikan tanda untuk data yang perlu dimasukkan ke program dan selebihnya akan secara otomatis. Setelah semua data dimasukkan maka klik “RUN”. Hal ini disajikan oleh Gambar 1 (a) berikut.

Kedua, *Geometry Shell and Tube*. Pada tahap ini masukkan data-data desain shell and tube yang disajikan pada Tabel 1 sebelumnya. Ketiga, *Output Summary*. Data yang telah dimasukkan akan secara otomatis diolah oleh program. Apabila ada sebuah kesalahan pada poin (1) maka program akan memberikan pesan *error* dan memberikan ringkasan perbaikan data yang diperlukan. Namun jika data yang dimasukkan sesuai maka program akan memberikan hasil yang tersaji oleh Gambar 1 (b) berikut.

HTRI

Case mode **Design** Service type **Generic shell and tube**

Customer **KONDENSOR 05E-03** Job No.

Address Reference No.

Location Proposal No.

Service of unit Date Rev

Type **B** **E** **U** Orientation **Horizontal** Item No.

Hot fluid **Shellside** Unit angle Connected in **1** **parallel 1** series

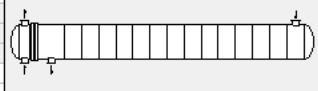
PERFORMANCE OF ONE UNIT

Fluid allocation		Shell Side		Tube Side	
Fluid name		Etanol		Air	
Fluid quantity, Total 1000-lb/hr		10.0312		8.4302	
Temperature (In/Out) F		132.08	119.84	84.74	93.2
Vapor weight fraction (In/Out)					
Inlet pressure psia		0.29		0.145	
Pressure drop, allow. psi					
Fouling resistance (min) ft ² -hr-F/Btu					
Exchanger duty MM Btu/hr					

CONSTRUCTION OF ONE SHELL

		Shell Side		Tube Side	
Design/Test pressure psig		75	/	75	/
Design temperature F		190		150	
Number passes per shell					
Corrosion allowance inch		0		0	
Connection	In inch	1	@	1	@
Size & Rating	Out inch	1	@	1	@
	Intermediate	@		@	

Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)



Tube No. **26** OD **1** inch Thk(avg) **0.065** inch Length **8.202** ft Pitch **1.25** inch

Tube type **Plain** Material **SA-240 316 PL S31600** Tube pattern **90**

Shell **SA-240 316 PL S31600** ID **13.2677** OD **13.5177** inch Shell cover

Channel or bonnet

Tubesheet-stationary

Floating head cover

Baffles-cross Type **Single segmental** %Cut **6.6338** Inlet **inch**

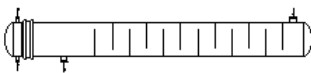
Orientation **Program sets** Crosspasses **Outlet** **inch**

Baffles-long Seal type

Supports-tube U-bend Type **None**

Input Remarks

Drawings Shells-in-Series Design Session

PERFORMANCE OF ONE UNIT							
Fluid Allocation		Shell Side			Tube Side		
Fluid Name		Etanol			Air		
Fluid Quantity, Total lb/hr		10119			8430.3		
Vapor (In/Out)							
Liquid		10119	10119		8430.3	8430.3	
Steam							
Water					8430.3	8430.3	
Noncondensables							
Temperature (In/Out) F		132.08	119.84		84.74	93.20	
Specific Gravity		0.7764	0.7815		0.9949	0.9933	
Viscosity cP		0.5903	0.6524		0.8190	0.7445	
Molecular Weight, Vapor							
Molecular Weight, Noncondensables							
Specific Heat Btu/lb-F		0.6665	0.6520		0.9999	0.9992	
Thermal Conductivity Btu/hr-ft-F		0.0960	0.0970		0.3633	0.3648	
Latent Heat Btu/lb							
Inlet Pressure psia		464.12			551.14		
Velocity ft/sec		0.27			1.41		
Pressure Drop, Allow/Calc psi		6.000	0.147		6.000	0.743	
Fouling Resistance (min) ft2-hr-F/Btu		0.00000			0.00000		
Heat Exchanged 76466 Btu/hr					MTD (Corrected) 36.5 F		
Transfer Rate, Service 36.64 Btu/ft2-hr-F		Clean 68.41	Btu/ft2-hr-F		Actual 68.41	Btu/ft2-hr-F	
CONSTRUCTION OF ONE SHELL					Sketch (Bundle/Nozzle Orientation)		
		Shell Side		Tube Side			
Design/Test Pressure psig		500.00 /		600.00 /			
Design Temperature F		190.00		150.00			
No Passes per Shell		1		4			
Corrosion Allowance inch		0.0000		0.0000			
Connections		1 @ 2.0690		1 @ 1.0490			
Size & Rating		1 @ 2.0690		1 @ 1.0490			
Rating		@		@			
Tube No. 13U	OD 1.0000 inch	Thk(Avg) 0.0650 inch	Length 8.202 ft	Pitch 1.2500 inch			
Tube Type Plain		Material SA-240 316 Pl. S31600			Tube pattern 90		
Shell SA-240 316 Pl. S31600		ID 13.268	OD 13.768 inch	Shell Cover	(Integ.)		
Channel or Bonnet				Channel Cover			
Tubesheet-Stationary				Tubesheet-Floating			
Floating Head Cover				Impingement Plate None			
Raffles-Cross		Type Single-Seg	%Cut (Diam) 20.79	Spacing(c/c) 6.5339	Inlet 7.5723 inch		

Gambar 1. Input dan output summary

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondensor yang diteliti memiliki tipe *shell and tube*. Bagian *shell* berupa fluida panas, etanol dan air di sisi *tube* sebagai fluida dingin. Kondensor melangsungkan proses pertukaran panas antar dua fluida tersebut. Kondensor berperan sebagai alat penukar panas untuk mengubah fasa uap menjadi cair [13]. Penggunaan kondensor akan terus-menerus selama proses produksi berlangsung sehingga adanya kemungkinan terjadi penurunan kinerja suatu alat akibat *fouling* atau pengotor meningkat di dalam HE tersebut. Adanya pengotor di dalam HE sangat merugikan karena keberadaannya akan mengganggu proses perpindahan panas dan memberikan beban kinerja HE tersebut akan lebih besar dari kondisi normal.

Tindakan pemantauan menjadi kebutuhan untuk pemeriksaan atau pengevaluasian kondisi alat HE secara rutin. Evaluasi kinerja HE dapat dilakukan dengan melihat batasan parameter nilai *fouling factor* (R_d) yang diizinkan. Langkah ini dapat dilakukan secara manual maupun simulasi melalui *software* HTRI. Program ini adalah salah satu produk yang dibuat oleh *Tubular Exchanger Manufacturer Association* (TEMA) [14], berkaitan perhitungan desain dan simulasi *heat exchanger*, membuat grafik, dan skala gambar dari hasil perhitungan *heat exchanger* [15].

Tabel 3. Evaluasi kondensor pada pabrik pengental CMC

	Persamaan Matematis	Program HTRI	Selisih
Laju perpindahan panas, Q, Btu/jam	71365,6154	76466	5100,3846
L_{MTD} , °F	36,9578	36,5	0,4578
Koefisien perpindahan panas desain, U_D , $\frac{Btu}{jam.ft.^{\circ}F}$	35,293	38,5049	3,2199
Koefisien perpindahan panas bersih, U_C , $\frac{Btu}{jam.ft.^{\circ}F}$	59,0184	68,55	9,5316
<i>Fouling factor</i> (R_d), $\frac{Btu}{jam.ft.^{\circ}F}$	0,01139	0,01138	0,0001

Perbedaan metode antara penggunaan persamaan matematis dan program HTRI menghasilkan capaian faktor pengotor yang tersaji pada Tabel 3 dengan empat parameter. Perbedaan hasil tidak terlalu signifikan karena pembulatan hasil akhir *fouling factor* (R_d) diperoleh sama yaitu 0,011. Secara keseluruhan perbedaan hasil keduanya disebabkan adanya perbedaan pengolahan data yang diinputkan seperti adanya keterlibatan konsentrasi etanol untuk menentukan nilai viskositas, μ , dan konduktifitas termal, k . Lalu di sisi program HTRI tidak demikian. Lalu, peran jenis material digunakan pada *software* ini, tetapi tidak pada perhitungan secara manual. Ketiga parameter tersebut mengakibatkan perbedaan nilai properti pada fluida etanol dan air seperti kapasitas panas, viskositas, dan densitas. Selain itu, nilai lainnya Q, U_D , dan U_C juga terpengaruh dan menjadi akhir penentuan batas faktor pengotor alat penukar panas. Antara kedua metode akan menemui titik penyelesaian karena saling mendukung satu sama lain melalui komparasi dengan hasil dan tindakan yang dilakukan industri CMC.

Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai R_d lebih besar dari desain ($0,011 > 0,0003$). Hal tersebut menandakan bahwa kondisi *heat exchanger* memiliki lapisan pengotor yang cukup banyak. Fenomena ini terjadi karena adanya efek panas antar fluida dengan alat yang mengakibatkan kerak pada bagian dalam HE serta adanya pengotor lainnya yang ikut terbawa fluida saat masuk ke HE, sehingga mengakibatkan kinerja HE kurang optimal. Menurut peneliti [16], pembentukan pengotor disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya *precipitation fouling*, *particulate fouling*, biologi, korosi, reaksi kimia, dan *freezing fouling*. Fenomena ini juga dipengaruhi oleh tipe alat penukar panas, suhu kedua fluida dilibatkan beserta laju alir massa, konsentrasi kotoran yang terdapat di dalam fluida [9].

Kondisi HE yang memiliki nilai pengotor lebih besar dari desain perlu dilakukan pembersihan alat. Tipe *shell and tube* memiliki konstruksi pembersihan yang mudah sehingga permasalahan ini dapat teratasi. Pembersihan alat ini bertujuan agar kinerja peralatan proses menjadi lebih optimal dan mengurangi beban kerja alat [8]. Pembersihan kondensor tipe ini dapat dilakukan dengan cara mengikis atau menyikat dan penyemprotan air berkecepatan sangat tinggi.

Fouling tidak dapat dicegah maka *process engineer* beserta petugas *maintenance* disarankan untuk melakukan proses berupa pengecekan dan pembersihan alat penukar panas secara periodik. Umumnya proses pembersihan HE membutuhkan waktu yang cukup lama. Sisi lain, peran peralatan ini sangat penting dalam proses produksi karena perawatan ataupun perbaikan pada unit penukar panas mampu menghambat kinerja peralatan selanjutnya. Bahkan terkadang tindakan *shut down* (jika sudah melampaui ambang batas R_d) diterapkan saat proses pembersihan HE berlangsung.

Kebutuhan pihak ketiga juga dapat menjadi opsi pemantauan tahunan. Data harian dari perusahaan terkait kinerja peralatan penukar panas terlebih laju alir massa dan suhu kedua fluida mampu memberikan dampak signifikan. Dua di antaranya adalah penggantian baru peralatan maupun perancangan baru HE yang telah lama digunakan. Kerap beberapa industri mengabaikan fluktuasi fluida yang digunakan (perubahan data lapangan) dan mengakibatkan kerugian kinerja peralatan proses setempat. Hal ini telah menjadi peristiwa rutin dengan sektor eksplorasi minyak bumi melalui penggunaan pompa ESP – *Electric Submersible Pump* [17].

4. KESIMPULAN

Evaluasi kinerja alat penukar panas tipe kondensor telah dilakukan. Penggunaan persamaan matematis dan program HTRI memberikan selisih nilai, diantaranya laju perpindahan panas, L_{MTD} , koefisien perpindahan kalor untuk desain, perpindahan panas bersih, dan *fouling factor* sebesar 5100,3846 Btu/jam; 0,4578; 3,2119 Btu/jam.ft².°F; 9,5316 Btu/jam.ft².°F; dan 0,01138 Btu/jam.ft².°F secara berturut-turut. Evaluasi ini menjadikan nilai R_d secara estimasi melebihi ambang batas di industri CMC. Secara tidak langsung, hal ini mengindikasikan bahwa kinerja HE berada di kondisi kurang optimal dan membutuhkan agenda pembersihan alat penukar panas. Penggunaan kedua langkah

peninjauan kinerja peralatan *shell and tube* menjadi paduan proses dalam melihat nilai faktor pengotor, Rd.

5. PENGHARGAAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada perusahaan CMC terkait yang telah membantu dan mengizinkan penulisan artikel ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. G. C. Alfian and D. Supriyadi, "Analisa kinerja High Pressure Heater (HPH) tipe shell and tube heat exchanger," *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. II, no. 2, pp. 23–33, 2018.
- [2] R. I. Yaqin *et al.*, "Analisa perpindahan panas heat exchanger mesin induk (studi kasus: KM.Sumber Mutiara)," *Jurnal Teknologi Terapan (JTT)*, vol. 8, no. 1, pp. 53–60, 2022.
- [3] I. Bizzy and R. Setiadi, "Studi perhitungan alat penukar kalor tipe shell and tube dengan program Heat Transfer Research Inc. (HTRI)," *Jurnal Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya*, vol. 13, no. 1, pp. 67–76, 2013.
- [4] A. K. Prasad and K. Anand, "Design & analysis of shell & tube type heat exchanger," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 9, no. 01, pp. 524–539, 2020.
- [5] G. Marawijaya, Tahdidi, L. Trisnaliani, and C. Purna, "Prototype heat exchanger type shell and tube ditinjau dari variasi jarak baffle dan laju alir massa udara panas," *Jurnal Politeknik Negeri Sriwijaya*, vol. 10, no. 01, pp. 18–23, 2019.
- [6] T. M. Shaikh and R. Patel, "Design and optimization of shell and tube heat exchanger using HTRI software," *Indian Journal of Applied Research*, vol. 5, no. 1, pp. 10–13, 2015.
- [7] I. E. Rahayu, S. N. Izzah, and M. R. Hidayat, "Analisis kinerja heat exchanger pada preheater CDU V di Kilang RU V Balikpapan," *Jurnal Teknik Kimia Vokasional*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2021.
- [8] D. A. Sari, I. Iksanudin, and A. Hakiim, "A case study on maintenance of overheat - spot welding machine," in *ADRI 4th International Multidisciplinary Conference and Call for Paper 2017*, Universitas Negeri Jakarta: ADRI dan Universitas Negeri Jakarta, Jan. 2017, p. 442. doi: 10.31227/osf.io/9h4ct.
- [9] Hendri, Suhengki, and A. F. Lubis, "Pengaruh fouling terhadap laju perpindahan panas pada superheater boiler CFB PLTU Sebalang," *Jurnal Power Plant*, vol. 6, no. 1, pp. 48–57, 2018.
- [10] A. A. Shrikant, R. Sivakumar, and M. Vivekanandan, "Comparison of shell and tube heat exchanger using theoretical methods, HTRI, aspen and solidworks simulation

- softwares,” *Internatioal Journal of Engineering Research and Application*, vol. 6, no. 3, pp. 99–107, 2016.
- [11] M. P. Sutardi, M. I. Fardiansyah, F. Fauzia, and D. A. Sari, “Program simulasi Aspen Hysis bagi mahasiswa teknik kimia di semester awal,” in *Prosiding Seminar Nasional Universitas Islam Syekh Yusuf*, Universitas Islam Syekh Yusuf: Universitas Islam Syekh Yusuf, Dec. 2020, pp. 1370–1373. doi: 10.31219/osf.io/e3t72.
- [12] Donald Q. Kern, *Process Heat Transfer*. 1965.
- [13] W. N. Sari, H. N. Aulia, and A. Kusmawati, “Perencanaan Periode cleaning kondensor e-1102 di pabrik x Pemalang,” *Widya Normasita Sari, SNTM*, vol. 1, no. September, pp. 410–419, 2021.
- [14] T. E. Prasasti, S. Udjiana, and Y. Muharram, “Evaluasi fouling factor terhadap kinerja heat exchanger pada gas cooler unit CO₂ liquid plant,” *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, pp. 570–578, 2021.
- [15] S. A. Sakhti, S. Karunakaran, J. Esakkimuthu, A. F. A. Mariya, N. M. Mohamed, and S. Vinoth, “Design of shell and tube heat exchanger using HTRI suite software and validation of results using manual calculation,” *International Journal of Petrochemical Engineering and Technology (IJPET)*, vol. 1, no. 1, pp. 11–15, 2020.
- [16] M. Asadi and R. H. Khoshkhoo, “Investigation into Fouling factor in compact heat exchanger,” *International Journal of Innovation and Applied Studies*, vol. 2, no. 3, pp. 238–249, 2013.
- [17] D. A. Sari, A. Soepryanto, and S. Burhanuddin, “Re-design electric submersible pump pada PT Chevron Pacific Indonesia – Minas Pekanbaru,” *Barometer*, vol. 1, no. 1, pp. 25–33, Jul. 2016, doi: 10.35261/barometer.v1i1.356.