

## **EVALUASI PERFORMA HEAT EXCHANGER (E-3101) PADA PROSES PEMBUATAN ALUMINIUM FLORIDA PT PETROKIMIA GRESIK**

<sup>1</sup>Annyssa Maylia, <sup>1</sup>Ellana Nabilah Nur Averina Ansar, <sup>1</sup>Achmad Chumaidi, <sup>2</sup>Aldifi Kresmagus  
<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia  
<sup>2</sup>PT Petrokimia Gresik, Jl. Jendral Ahmad Yani, Gresik, Indonesia  
Annyssamaylia31@gmail.com, [achmad.chumaidi@yahoo.com]

### **ABSTRAK**

*Heat exchanger* merupakan suatu alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas fluida dengan fluida yang lain tanpa terjadi perpindahan massa di dalamnya dan dapat digunakan sebagai pemanas atau pendingin. Salah satu jenis dari *heat exchanger* adalah *shell and tube*. Pada proses produksi  $AlF_3$  di PT petrokimia Gresik, *heat exchanger* (E-3101) digunakan untuk memanaskan Asam Fluosilikat ( $H_2SiF_6$ ) sebelum di reaksikan dengan  $Al(OH)_3$ . *Heat exchanger* (E-3101) yang dimiliki PT. Petrokimia Gresik ini sudah beroperasi cukup lama sehingga perlu di evaluasi. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode kern 1983, *clean overall coefficient* aktual rata-rata adalah  $2702,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , *dirt overall coefficient* aktual rata-rata adalah  $451,726 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , *fouling factor* aktual rata-rata adalah  $0,00183 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  yang masih dibawah batas Rd literatur sebesar  $0,00176 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ , maka dapat disimpulkan *heat exchanger* masih layak beroperasi. Namun jika digunakan terus menerus maka performa akan menurun tanpa ada pembersihan (*cleaning*), sehingga hal itu akan mempengaruhi produk dan kinerja alat yang lain. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembersihan dan pengecekan temperatur serta tekanan yang keluar masuk *heat exchanger* untuk mengoptimalkan performa dari *heat exchanger*.

**Kata kunci:** *heat exchanger, shell and tube, clean overall coefficient, dirt overall coefficient, fouling factor*

### **ABSTRACT**

*The heat exchanger is a tool that is used in the process of heat transfer fluids with other fluids where the mass transfer does not occur and can be used as heating or cooling. One of heat exchanger is a shell and tube. In the  $AlF_3$  production process at PT Petrokimia Gresik, a heat exchanger (E-3101) is used to heat Fluosilicate acid ( $H_2SiF_6$ ) before it is reacted with  $Al(OH)_3$ . The heat exchanger (E-3101) is owned by PT. Petrokimia Gresik has been around for a long time so it needs evaluation. Based on the results of calculations using the 1983 Kern method, the average actual overall coefficient is  $2702.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ , and the average actual total dirt coefficient is  $451,726 \text{ W/m}^2\text{K}$ , the actual average fouling factor is  $0,00183 \text{ m}^2\text{K/W}$  which is still below the literary Rd limit of  $0.00176 \text{ m}^2\text{K/W}$ , it can be neglected that the heat exchanger is still feasible to operate. But, if it is used continuously, the performance will decrease without exception (*cleaning*), so that it will affect the product and the performance of other tools. Therefore it is necessary check the temperature and pressure that comes out of the heat exchanger to optimize the performance of the heat exchanger.*

**Keywords:** *heat exchanger, shell and tube, clean overall coefficient, dirt overall coefficient, fouling factor.*

## 1. PENDAHULUAN

Sektor industri di Indonesia mengalami peningkatan yang pesat, salah satunya dalam bidang pertanian. PT Petrokimia Gresik merupakan perusahaan milik negara dan produsen pupuk yang terbesar di Indonesia. Pada saat ini, PT Petrokimia Gresik memiliki tiga unit produksi yaitu unit 1, unit 2 dan unit 3. Selain memproduksi pupuk, PT. Petrokimia Gresik juga memproduksi non pupuk. Salah satu produk non pupuk yang berada di produksi unit 3 adalah Aluminium Florida ( $AlF_3$ ). Pabrik  $AlF_3$  di PT Petrokimia Gresik didirikan pada tahun 1984 dan mampu menghasilkan kristal Aluminium Florida sebanyak 41 ton per hari [1]. Pabrik tersebut menjadi satu-satunya pabrik yang memproduksi  $AlF_3$  di Indonesia. Aluminium Florida sering digunakan sebagai bahan penurun titik lebur pada industri peleburan bijih Aluminium serta dihasilkan hasil samping berupa  $SiO_2$  untuk bahan kimia tambahan unit Asam Fosfat.

Secara umum, proses produksi pabrik  $AlF_3$  adalah persiapan bahan baku, proses reaksi, proses kristalisasi, proses kalsinasi, proses pendinginan, dan proses pengemasan. Bahan baku pembuatan  $AlF_3$  yaitu  $Al(OH)_3$  dan Asam Fluosilikat ( $H_2SiF_6$ ). Asam Fluosilikat ( $H_2SiF_6$ ) merupakan hasil samping dari proses *fluorine recovery* di pabrik Asam Fosfat. Dalam proses persiapan bahan baku Asam Fluosilikat ( $H_2SiF_6$ ) yang berada di tangka perlu dipanaskan sebelum dilakukan reaksi. Proses pemanasan dilakukan menggunakan *heat exchanger* atau heater E-3101 hingga temperatur mencapai  $75^\circ C - 80^\circ C$ .

*Heat exchanger* sendiri adalah suatu alat yang digunakan dalam proses perpindahan panas fluida dengan fluida yang lain tanpa terjadi perpindahan massa di dalamnya dan dapat digunakan sebagai pemanas atau pendingin [2]. *Heat exchanger* yang digunakan untuk memanaskan Asam Fluosilikat memiliki tipe *shell and tube 1-1*, yaitu *steam* sebagai pemanas pada *shell* sedangkan Asam Fluosilikat masuk melalui tubing-tubing.

*Heat exchanger* (E-3101) yang dimiliki PT. Petrokimia Gresik ini sudah beroperasi cukup lama sehingga dapat menyebabkan performa menurun. Penurunan performa dapat mempengaruhi produk dan kinerja dari alat yang lain. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi pada *heat exchanger* tersebut dengan menggunakan perhitungan metode kern. Adapun evaluasi yang dilakukan yaitu nilai perpindahan panas *dirty overall* ( $U_d$ ), perpindahan panas *clean overall* ( $U_c$ ), *fouling factor* ( $R_d$ ), serta *pressure drop*. Sehingga diharapkan dapat mengetahui apakah *heat exchanger* tersebut perlu dibersihkan atau tidak agar lebih efisien dalam transfer panas dan mengetahui kelayakan suatu *heat exchanger* tersebut.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan penelitian sebagai berikut:

### 2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi spesifikasi alat dan desain awal pada *heat exchanger* (E-3101). Pengambilan data dilakukan selama 5 hari mulai dari tanggal 25 – 29 Januari 2021 yang diperoleh dari kompartemen produksi  $AlF_3$  PT Petrokimia Gresik.

**Tabel 1.** Data spesifikasi alat *heat exchanger* (E-3101)

Parameter	Shell		Tube	
	In	Out	In	Out
Fluida	Steam		Larutan H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	
Flowrate (kg/h)	1410		34500	
Suhu (°C)	14	143	61,6	85
Jumlah Lewatan / <i>pass</i>	3		1	
Diameter Dalam (mm)	438,15		22,225	
Diameter Luar (mm)	-		31,75	
Jumlah Tube			55	
Panjang Pipa (mm)			2965	
Pitch (mm)			38,76	
Densitas (kg/m <sup>3</sup> )	2,214		1150	
Panas Laten (kcal/kg)	510		-	
Kalor Jenis (kcal/kg °C)	0,442		0,88	
Susunan Tube	Square Pitch			

**Tabel 2.** Data kondisi operasi *heat exchanger*

Tanggal	Shell (Steam)			Tube (Larutan H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )		
	T in (°C)	T out (°C)	Laju Alir (kg/h)	T in (°C)	T out (°C)	Laju Alir (kg/h)
25/01/2021	143	143	1410	63	80	94546,63568
26/01/2021	143	143	1410	76	80	401823,5294
27/01/2021	143	143	1410	63	76	123638,01
28/01/2021	143	143	1410	61	76	107152,9412
29/01/2021	143	143	1410	64	77	123638,009

## 2.2. Metode Perhitungan

Untuk menghitung performa pada alat *heat exchanger*, beberapa tahapan penyelesaian menggunakan metode Kern [3] dapat dilakukan sebagai berikut:

### 1. Menentukan Properti Fluida

Properti fluida yang dibutuhkan untuk menghitung kinerja alat adalah kapasitas panas (*C<sub>p</sub>*), konduktivitas termal (*k*), dan viskositas (*μ*). Data yang digunakan merupakan data dari suhu rata – rata tiap fluida yang dapat dituliskan dengan rumus:

$$T_{avg} = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad \text{atau} \quad t_{avg} = \frac{t_1 + t_2}{2} \quad (1)$$

Keterangan:

Tavg = suhu rata – rata fluida panas

tavg = suhu rata – rata fluida dingin

T<sub>1</sub> = suhu masuk fluida panas

T<sub>2</sub> = suhu keluar fluida panas

t<sub>1</sub> = suhu masuk fluida dingin

t<sub>2</sub> = suhu keluar fluida dingin

2. Menentukan Neraca Panas Fluida

$$Q_{\text{laten (shell)}} = m \times L \quad (2)$$

$$Q_{\text{sensibel (tube)}} = m \times C_p \times \Delta T \quad (3)$$

Keterangan:

m = massa fluida

L = panas laten

C<sub>p</sub> = kalor jenis fluida

ΔT = selisih suhu fluida

3. Menghitung *Logarithmic Mean Temperature Difference* (LMTD)

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (4)$$

$$R = \frac{(T_1 - T_2)}{(t_2 - t_1)} \quad (5)$$

$$S = \frac{(t_2 - t_1)}{(T_1 - t_1)} \quad (6)$$

$$\Delta t = F_t \times LMTD \quad (7)$$

Keterangan:

LMTD = selisih suhu logaritmitk fluida

F<sub>t</sub> = Faktor koreksi LMTD

Δt = selisuh suhu rata – rata

4. Menghitung Temperatur Kalorik

$$T_c = T_2 + F_c (T_1 - T_2) \quad (8)$$

$$t_c = t_1 + F_c (t_2 - t_1) \quad (9)$$

Keterangan:

T<sub>c</sub> = temperatur kalorik fluida panas

t<sub>c</sub> = temperature kalorik fluida dingin

F<sub>c</sub> = fraksi kalorik

5. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas pada Bagian *Shell*

a. Menghitung nilai *cross flow area*

$$a_s' = \pi \times r^2 \quad (10)$$

$$a_s = a_s' - a_t' \quad (11)$$

b. Menghitung nilai laju alir fluida (Gs)

$$G_s = \frac{m}{a_s} \quad (12)$$

Keterangan:

G<sub>s</sub> = *mass velocity* fluida pada bagian *shell*

m = laju alir fluida

a<sub>s</sub> = *cross flow area* pada bagian *shell*

- c. Menghitung Bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{OD \times Gs}{\mu} \quad (13)$$

Keterangan:

Nre= Bilangan Reynold

OD = diameter luar

$\mu$  = viskositas fluida

- d. Mencari nilai jH

Pada bagian *shell* dapat dicari melalui *Figure 28 Kern* [3]

- e. Menghitung Bilangan Prantdl

$$Bilangan\ Prantdl = \left( \frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{1/3} \quad (14)$$

Keterangan:

Cp = kapasitas panas fluida dalam *shell*

k = konduktivitas thermal fluida dalam *shell*

$\mu$  = viskositas fluida dalam *shell*

- f. Menghitung *Outside Film Coefficient* (ho)

$$\frac{ho}{\phi_s} = jH \times \frac{k}{De} \left( \frac{Cp \times \mu}{k} \right)^{1/3} \quad (15)$$

Keterangan:

ho = *outside film coefficient*

De = *shell side equivalent diameter*

jH = faktor panas

6. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas pada Bagian *Tube*

- a. Menghitung nilai *cross flow area*

$$at' = \pi \times r^2 \quad (16)$$

$$at = \frac{Nt \times at'}{n} \quad (17)$$

Keterangan:

at = *area of tube*

at' = *flow area per tube*

Nt = jumlah *tube*

n = jumlah *tube passes*

- b. Menghitung nilai laju alir fluida (Gt)

$$Gt = \frac{m}{at} \quad (18)$$

Keterangan:

Gt = *mass velocity* fluida pada bagian *tube*

m = laju alir fluida

at = *cross flow area* pada bagian *tube*

- c. Menghitung Bilangan Reynold (Nre)

$$Nre = \frac{ID \times Gt}{\mu} \quad (19)$$

Keterangan:

Nre= Bilangan Reynold

ID = diameter dalam

$\mu$  = viskositas fluida

- d. Mencari nilai  $jH$   
 Pada bagian *tube* dapat dicari melalui *Figure 24 Kern* [3]  
 e. Menghitung Bilangan Prantdl

$$\text{Bilangan Prantdl} = \left( \frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{1/3} \quad (20)$$

Keterangan:

$C_p$  = kapasitas panas fluida dalam *tube*

$k$  = konduktivitas thermal fluida dalam *tube*

$\mu$  = viskositas fluida dalam *tube*

- f. Menghitung *Inside Film Coefficient* ( $h_i$ )

$$\frac{h_i}{\phi_t} = jH \times \frac{k}{OD} \left( \frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{1/3} \quad (21)$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} \quad (22)$$

Keterangan:

$h_i$  = *inside film coefficient*

ID = diameter dalam

OD = diameter luar

$jH$  = faktor panas

$h_{io}$  = koefisien transfer panas di dinding luar *inner pipe*

7. Menghitung *Clean Overall Coefficient* ( $U_c$ )

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (23)$$

8. Menghitung *Dirt Overall* ( $U_d$ )

$$U_d = \frac{Q}{A \times \Delta T} \quad (24)$$

9. Menghitung *Fouling Factor* ( $R_d$ )

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \quad (25)$$

10. Menghitung *Pressure Drop*

*Shell side:*

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N+1)}{5.22 \times 10^{10} \times De \times s \times \phi_s} \quad (26)$$

Keterangan:

$\Delta P_s$  = Total *pressure drop* pada *shell*

$f$  = *friction factor shell* (*Kern Tabel 29* [3])

$N + 1$  = jumlah lintasan aliran melalui *baffle*

ID<sub>s</sub> = diameter dalam *shell*

Sedangkan untuk bagian *tube* dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$\Delta P_{total} = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5.22 \times 10^{10} \times ID \times s \times \phi_t} + \frac{4 \times n \times v^2}{s \times 2 \times g} \quad (27)$$

Keterangan:

$f$  = *friction factor tube* (*Kern Tabel 26* [3])

$L$  = panjang *tube*

ID = diameter dalam

$s$  = *specific gravity*

$\frac{v^2}{g}$  = *tube-side return pressure loss*

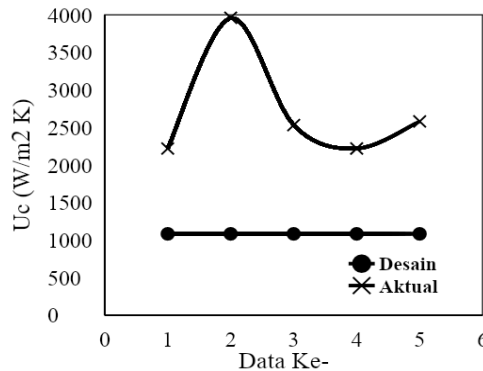
$n$  = tube passes

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan perhitungan evaluasi performa *heat exchanger* (E-3101) didapatkan nilai *Clean Overall Coefficient* ( $U_c$ ), *Dirt Overall Coefficient* ( $U_d$ ), *Fouling Factor* ( $R_d$ ), dan *Pressure Drop* ( $\Delta P$ ) sebagai berikut:

#### 3.1. *Clean Overall Coefficient* ( $U_c$ )

*Clean Overall Coefficient* ( $U_c$ ) merupakan hantaran perpindahan panas dalam keadaan bersih. Hasil perhitungan nilai  $U_c$  yang dinyatakan dengan grafik dapat dilihat pada gambar 1. Dari hasil perhitungan nilai rata – rata untuk  $U_c$  aktual adalah 2702,4 W/m<sup>2</sup> K, sedangkan untuk  $U_c$  desain adalah 1082.96 W/m<sup>2</sup> K. Hasil perbandingan  $U_c$  aktual dan desain terlihat pada grafik berikut:

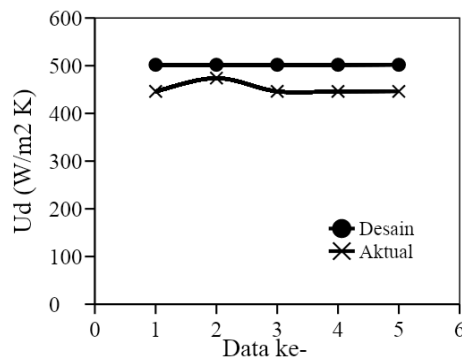


Gambar 1. Kurva perbandingan  $U_c$  desain dan  $U_c$  aktual

Dari gambar 1 menunjukkan bahwa nilai  $U_c$  pada keadaan aktual lebih besar daripada nilai desainnya. Sehingga menandakan besarnya perpindahan panas dari keseluruhan alat masih layak digunakan meskipun melebihi desainnya.

#### 3.2. *Dirt Overall Coefficient* ( $U_d$ )

*Dirt Overall Coefficient* ( $U_d$ ) merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada HE. Secara teoritis, nilai  $U_c$  harus lebih besar daripada nilai  $U_d$  karena perpindahan panas pada saat HE dalam keadaan bersih lebih baik daripada dalam keadaan kotor. Hal tersebut dapat terjadi karena masih sedikitnya hambatan yang mengganggu saat proses perpindahan panas terjadi.

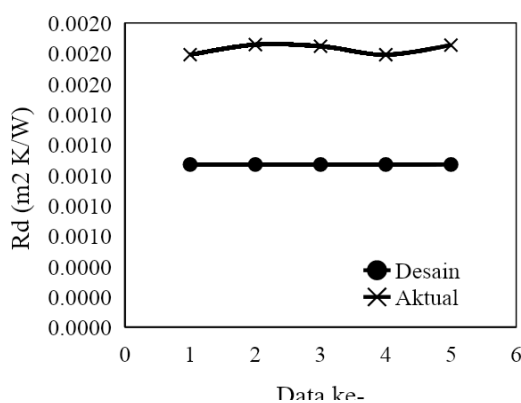


Gambar 2. Kurva perbandingan  $U_d$  desain dan aktual

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai  $U_d$  aktual lebih kecil daripada  $U_d$  desain. nilai rata – rata  $U_d$  aktual sebesar  $451,726 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , sedangkan pada  $U_d$  desain sebesar  $501,918 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas pada saat aktual kurang optimal. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya pengotor di dalam *heat exchanger*. Berdasarkan perhitungan nilai  $U_d$  dan  $U_c$  terlihat bahwa nilai  $U_c$  lebih besar daripada  $U_d$ . Hal ini menunjukkan perhitungan telah sesuai dengan teori dimana nilai  $U_c$  lebih besar daripada nilai  $U_d$ .

### 3.3. Fouling Factor (Rd)

*Fouling factor* ( $R_d$ ) merupakan angka yang menunjukkan hambatan akibat adanya kotoran yang terbawa fluida yang mengalir di dalam HE. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan nilai  $R_d$  rata rata aktual sebesar  $0,00183 \text{ m}^2 \text{ K/W}$  sedangkan  $R_d$  desain  $0,00107 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ .



**Gambar 3.** Kurva perbandingan  $R_d$  desain dan aktual

Dari Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai  $R_d$  aktual lebih besar daripada  $R_d$  desain. Namun  $R_d$  aktual masih dibawah  $R_d$  literatur yaitu sebesar  $0,00176 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ . Hal ini membuktikan bahwa kinerja *heater* (E-3101) masih layak beroperasi. Nilai  $R_d$  yang meningkat menandakan adanya korosi atau kotoran lain dalam alat penukar panas. Karena semakin lama HE digunakan maka akan menimbulkan pengotoran (*fouling*) pada bagian dalam alat tersebut. Selain itu, besarnya nilai  $R_d$  aktual dapat disebabkan karena menipisnya ketebalan pipa karena terkikis (erosi) aliran secara terus – menerus dari dalam maupun luar pipa [4]. Adapun faktor-faktor lainnya yaitu temperatur fluida, dinding tube, material tube, kecepatan aliran fluida dan waktu beroperasi dari pembersihan terakhir [5]. Kemungkinan yang lain adalah diameter pipa mengalami perubahan bentuk atau ukuran (deformasi) karena perbedaan suhu yang berkepanjangan dan pembentukan kerak pada permukaan pipa [6].

Berdasarkan hasil perhitungan mengenai nilai *pressure drop* ( $\Delta P$ ) didapatkan bahwa nilai  $\Delta P$  desain adalah sebesar  $0,057 \text{ psi}$  dan nilai  $\Delta P$  aktual rata – rata adalah  $1,594 \text{ psi}$ . Nilai aktual tersebut lebih besar daripada desainnya. Terjadinya peningkatan nilai *pressure drop* dapat terjadi akibat adanya *fouling* atau kerak [7]. Namun, nilai *pressure drop* tersebut masih dalam rentang nilai yang diijinkan yaitu maksimal sebesar  $10 \text{ psi}$ . Sehingga, alat masih layak. Namun perawatan harus tetap dilakukan agar bisa bertahan lama dan lebih efisien.

Perawatan yang bisa dilakukan dengan cara *cleaning*. Baik *chemical cleaning* atau *mechanical cleaning*. Pembersihan *heat exchanger* terkhususnya *tube cleaning* dilakukan



dengan menyemprotkan *chemical* dan *water jet* pada *internal tube* dan *header box*, dimana bertujuan untuk dapat menghilangkan deposit yang biasanya terbentuk karena fluida yang mengalir. Deposit tersebut dapat menyebabkan tersumbatnya tube ataupun lebih parah dapat membuat korosi pada tube [8]. Selain itu juga pengecekan temperatur dan tekanan baik masuk dan keluar dari *heat exchanger* tersebut. Dengan melakukan pembersihan alat secara rutin, maka *heat exchanger* (E-3101) akan bekerja secara optimal.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari evaluasi alat *heat exchanger* (E-3101) menunjukkan bahwa alat tersebut masih layak digunakan ditinjau dari nilai *clean overall coefficient* ( $U_c$ ), *dirt overall coefficient* ( $U_d$ ), *fouling factor* ( $R_d$ ) dan *pressure drop*. Dimana nilai  $U_d$  lebih kecil daripada  $U_c$  dan  $R_d$  rata-rata masih di bawah  $R_d$  literatur serta nilai *pressure drop* masih dibawah ketentuan. Sehingga *heat exchanger* masih layak digunakan. Namun seiring berjalannya waktu performa alat akan turun, maka perlu dilakukan pembersihan (*cleaning*) secara berkala. Selain itu, untuk mengoptimalkan *heat exchanger* maka dapat dilakukan pengecekan temperatur serta tekanan masuk dan keluar dari *heat exchanger* tersebut.

#### REFERENSI

- [1] Purwoto, A., Rohmad Y.A., Prasetya, O.D., 2020, *Penyiapan Bahan Baku Liquid Produksi AIF3 – Asam Fluosilikat ( $H_2SiF_6$ )*, Diklat Petrokimia Gresik, Gresik.
- [2] Chalim, A., Ariani, A., Mufid, M., Hardjono, H., 2017, *Koefisien Perpindahan Kalor Total (U) Sitem Air-Etilen Glikol Menggunakan Alat Penukar Kalor Shell and Tube 1-1*, Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia, Vol. 1, Oktober, 69 – 76.
- [3] Kern, D.Q., 1950, *Process Heat Transfer*, International Student Edition, McGraw-Hill International Book Company, Japan.
- [4] Cengel, Y.A., 2006, *Heat Transfer: A Practical Approach (2<sup>nd</sup> Ed)*, Ohio: McGraw-Hill Higher Education.
- [5] Pravitasari, S.A., Agestine, F., Suharti, P.H., 2020, *Evaluasi Kinerja Alat Glycol Fan Cooler (E-230) Pada Proses Regenerasi Glikol Minarak Brantas Gas, Inc.*, Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, Vol. 6, No. 2, Politeknik Negeri Malang.
- [6] Ali, M., Maulana, M.I., Umar, H., 2012, *Analisis Aliran pada Sisi Shell Reboiler 61-105 C dengan menggunakan CFD*, Vol.1, No.1, Universitas Syiah Kuala, Aceh.
- [7] Pugh, S., G.F. Hewitt, H. Muller-Steinhagen. 2003. *Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications*. Jerman: Engineering Conferences International
- [8] Pratantyo, I., 2019, *Evaluasi Integrity Management (IM) Cycle pada Heat Exchanger LIMA E-1300A (Fin Fan AfterCooler 2nd Stage) dan Risk-Based Inspection (RBI) Berbasis API 581 di LCOM-05-V-3 (Residue Gas Separator)*, Universitas Indonesia, Jakarta