

# **EFEKTIVITAS KINERJA *HEAT EXCHANGER SHELL AND TUBE* 1-2 DENGAN VARIASI *FLOW RATE NATURAL GAS* PADA *SHELL* DAN *REFORMER* PADA *TUBE* DI UNIT *HYDROGEN* PLANT 8 PT PERTAMINA (PERSERO) RU V BALIKPAPAN**

Firman Gora Sasmita, Anis Dwi Yulianto, Arizzal Fathul Huda, Hadi Priya Sudarminto  
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Indonesia  
[firmangora2424@gmail.com](mailto:firmangora2424@gmail.com), [[hadi.priya@polinema.ac.id](mailto:hadi.priya@polinema.ac.id)]

## **ABSTRAK**

*Heat exchanger* merupakan alat untuk pertukaran panas dari fluida dengan suhu tinggi ke fluida dengan suhu rendah. *Heat exchanger* diharapkan mempunyai efektivitas yang tinggi serta memiliki nilai *fouling factor* di bawah batas yang telah ditetapkan dari *specification sheet*. Sehingga diteliti bagaimana pengaruh kecepatan aliran fluida terhadap efektivitas *heat exchanger shell and tube* serta seberapa besar nilai *fouling factor* yang dimiliki oleh *heat exchanger* tersebut. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa efektivitas akan turun seiring dengan meningkatnya laju alir fluida didalam *tube*. Hal ini dikarenakan waktu kontak yang menjadi singkat sehingga menurunkan nilai efektivitas. Nilai efektivitas paling besar didapatkan pada laju alir *tube* 7.868 lb/ jam dan laju alir *shell* 943,8 lb/jam dengan nilai efektivitas 0,94163. Kemudian didapatkan hasil *fouling factor* di atas *fouling resistance* sehingga *heat exchanger* ini membutuhkan perawatan untuk menurunkan nilai *fouling factor* dan meningkatkan nilai efisiensi.

**Kata Kunci** : efektivitas, efisiensi, *fouling factor*, *shell and tube heat exchanger*

## **ABSTRACT**

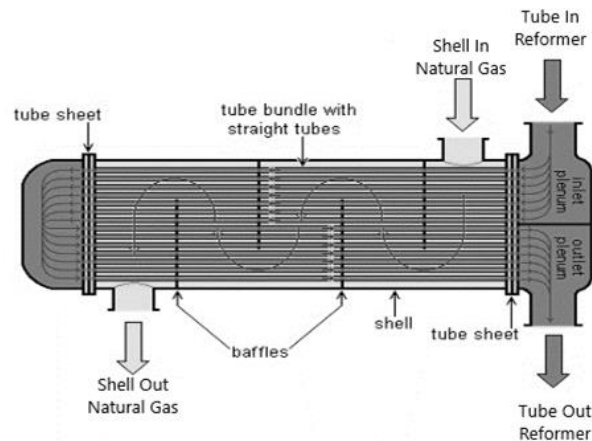
*Heat exchanger* is an equipment to exchange heat from high temperature fluids to low temperature fluids. *Heat exchanger* are expected to have high effectiveness and have a value *fouling factor* below the specified limit of the *specification sheet*. So it was investigated how the influence of fluid flow velocity on the effectiveness of the *shell and tube heat exchanger* and how much the *fouling factor* value owned by the *heat exchanger*. From the results of the study found that the effectiveness will decrease with increasing fluid flow rate in the *tube*. This is due to the short contact time, thus reducing the value of effectiveness. The the highest overall heat transfer coefficient value is obtained at the effectiveness value is obtained at the *tube* flow rate of 7.868 Lb / hour and the *shell* flow rate of 943.8 Lb / hour with an effectiveness value of 0.94163. Then the results obtained *fouling factor* above *fouling resistance* so that this *heat exchanger* requires treatment to reduce the value of the *fouling factor* and increase the efficiency values.

**Keywords**: effectiveness, efficiency, *fouling factor*, *shell and tube heat exchanger*

## **1. PENDAHULUAN**

*Hydrogen plant* 8 Pertamina RU V Balikpapan memiliki unit desulphurises yang berfungsi untuk menghilangkan kandungan sulphur *feed* masuk *hydrogen plant* 8 agar tidak menimbulkan kerak pada proses berikutnya. Sebelum *feed* *hydrogen plant* 8 masuk ke dalam desulphurises aliran *feed* akan melalui *Heat exchanger* E-19 B. *Heat exchanger* (HE) adalah

perangkat yang menyediakan aliran energi termal antara dua atau lebih fluida pada suhu berbeda [1]. *Heat exchanger* memiliki tujuan untuk mengontrol suatu sistem (suhu) dengan menambahkan atau menghilangkan energi kalor dari suatu fluida ke fluida lainnya. Dimana energi kalor akan berpindah dari suhu media yang lebih tinggi ke suhu media yang lebih rendah [2]. Perbedaan suhu menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor [3].



**Gambar 1.** Aliran *heat exchanger shell and tube 1-2 E-19 B* [4].

*Heat exchanger E-19 B* bertujuan untuk menaikkan suhu *feed* agar sesuai dengan kondisi operasi unit *desulphurises*. *Heat exchanger shell and tube 1-2* ini memanaskan *natural gas* dengan media pemanas aliran keluar reformer yang kemudian diteruskan ke *desulphurises*. Aliran panas *heat exchanger* berada di *tube* sedangkan aliran dingin berada di *shell* seperti pada Gambar 1. *Heat exchanger E-19 B* mengalami perubahan *flow rate* mengikuti kapasitas produksi dari pabrik. Perubahan *flow rate* berpengaruh terhadap nilai efektivitas dan *fouling factor* dari *heat exchanger*. Sebagai alat untuk penukaran panas dari fluida dengan suhu tinggi ke fluida dengan suhu rendah, ataupun sebaliknya, suatu *heat exchanger* diharapkan mempunyai efektivitas yang tinggi. Secara teoritis kenaikan kecepatan aliran pada *tube* akan menaikkan efektivitas sedangkan peningkatan aliran pada *shell* akan menurunkan efektivitas [5].

Berawal dari kondisi ini maka perlu dilakukan analisis perhitungan terhadap efektivitas *heat exchanger*, terutama akibat pengaruh pengotor yang terjadi di dalamnya. Mengingat *heat exchanger* ini berperan penting dalam proses yang terjadi pada *Hydrogen Plant 8*, maka kinerja *heat exchanger* harus selalu dijaga agar tetap optimal dan berfungsi dengan baik. Sehingga nantinya didapatkan hasil analisis efektivitas *heat exchanger* yang dapat digunakan sebagai bahan evaluasi bagi pabrik terhadap kinerja *heat exchanger* ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *flow rate* terhadap nilai efektivitas dan nilai *Rd (fouling factor)*.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Metode Penelitian

Penelitian ini digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi *flow rate* *natural gas* pada *shell* dan reformer pada *tube* terhadap efektivitas kinerja *heat exchanger E-19 B*. Metode perhitungan dilakukan berdasarkan data – data yang meliputi kondisi operasi pada *heat*

*exchanger* (suhu di aliran *input output shell* dan *tube*, tekanan dan *flow rate*) untuk mengetahui nilai *Number Transfer Unit* (NTU) untuk menentukan nilai efektivitasnya serta nilai *Rd*. Data – data tersebut diperoleh dari *control room*, laboratorium dan perpustakaan *Process Engineering*.

## 2.2. Alat dan Bahan

### a. Alat

*Heat exchanger shell and tube* 1-2 E-19 B unit *hydrogent plant* 8 Pertamina (Persero) RU V Balikpapan.

### b. Bahan

Bahan yang digunakan adalah *natural gas* sebagai fluida dingin dengan kandungan CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>, C<sub>5</sub>H<sub>12</sub> serta fluida panasnya merupakan aliran *reformer* (H<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>).

## 2.3. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan, ditabelkan dalam tabel yang meliputi data kondisi operasi pada *Heat exchanger shell and tube* 1-2 E 19-B.

**Tabel 1.** Kondisi Operasi

No	<i>Natural Gas (Shell)</i>			<i>Reformer (Tube)</i>		
	<i>Flow rate</i> (Lb/jam)	<i>Temp in</i> T <sub>1</sub> (°C)	<i>Temp Out</i> T <sub>2</sub> (°C)	<i>Flow rate</i> (lb/jam)	<i>Temp in</i> t <sub>1</sub> (°C)	<i>Temp Out</i> t <sub>2</sub> (°C)
1	943,8	165,2	696,794	7.868	769,28	666,68
2	2.539	225,23	693,086	10.210	749,48	660,02
3	3.340	213,89	689,072	12.430	820,04	677,12
4	4.173	224,33	728,906	15.450	799,52	689,54
5	5.274	204,56	726,944	18.910	825,26	701,06

## 2.4. Perhitungan

Untuk menghitung *performance* pada alat *Heat Exchanger*, beberapa tahapan penyelesaian menggunakan metode Kern [6] dapat dilakukan sebagai berikut:

### 1. Perhitungan Neraca Panas (*Heat Balance*)

Untuk menghitung *performance* pada alat *Heat Exchanger*, beberapa tahapan penyelesaian menggunakan metode Kern [6] dapat dilakukan sebagai berikut:

$$Q = W \times Cp \times (T_1 - T_2) = w \times Cp \times (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Dimana:

*Q* = Kalor jenis (Btu/jam)

*W* = laju alir fluida panas (lb/jam)

*w* = laju alir fluida dingin (lb/jam)

*Cp* = Kapasitas panas fluida panas (Btu/lb °F)

*cp* = Kapasitas panas fluida dingin (Btu/lb °F)

*T*<sub>1</sub> = Suhu fluida panas masuk (°F)

- $T_2$  = Suhu fluida panas keluar (°F)
- $t_1$  = Suhu fluida dingin masuk (°F)
- $t_2$  = Suhu fluida dingin keluar (°F)

2. Perhitungan *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*

Untuk alat penukar panas aliran *counterflow*, beda suhu rata-rata dihitung dengan beda suhu rata-rata logaritmik.

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

$$R = \frac{w \times c}{W \times C} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

$F_t$  = Didapat dari *Figure. 18* (Kern, 1983 [6])

$$\Delta t = F_t \times LMTD$$

Dimana:

$Q$  = Kalor jenis (Btu/jam)

$W$  = laju alir fluida panas (lb/jam)

$w$  = laju alir fluida dingin (lb/jam)

$C_p$  = Kapasitas panas fluida panas (Btu/lb °F)

$c_p$  = Kapasitas panas fluida dingin (Btu/lb °F)

$T_1$  = Suhu fluida panas masuk (°F)

$T_2$  = Suhu fluida panas keluar (°F)

$t_1$  = Suhu fluida dingin masuk (°F)

$t_2$  = Suhu fluida dingin keluar (°F)

$R$  = Efisiensi suhu

$S$  = Perbandingan daya tampung kalor fluida dingin dan fluida panas

$F_t$  = *Temperature Difference Factor*

3. Perhitungan *flow area*

*Flow area* merupakan luas penampang yang tegak lurus arah aliran.

*Shell side*

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

Dimana:

$ID$  = *Inside Diameter* (in)

$C'$  = Jarak Antara *tube* (in)

$B$  = *Baffle* (in)

$P_T$  = *Tube Pitch* (in)

*Tube Side*

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

- $N_T$  = Jumlah *tube*  
 $a't$  = *Internal area* Table 10 (Kern, 1983 [6])  
 $n$  = jumlah *tube passes*

4. Perhitungan *mass velocity*

Kecepatan massa merupakan perbandingan laju alir dengan *flow area Shell side*

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

Dimana:

- $G_s$  = *Mass Velocity shell* ( $\frac{lb}{jam \ ft^2}$ )  
 $w$  = *Flow rate* fluida di *shell* ( $\frac{lb}{jam}$ )  
 $a_s$  = *Flow area shell* ( $ft^2$ )

*Tube side*

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

Dimana:

- $G_t$  = *Mass Velocity tube* ( $\frac{lb}{jam \ ft^2}$ )  
 $W$  = *Flow rate* fluida di *tube* ( $\frac{lb}{jam}$ )  
 $a_t$  = *Flow area tube* ( $ft^2$ )

5. Pehitungan *Reynold number*

$$N_{re \text{ pada Shell}} = \frac{D \times G_s}{\mu}$$

$$N_{re \text{ pada Tube}} = \frac{D \times G_t}{\mu}$$

6. Perhitungan *heat transfer factor* ( $J_h$ )

*Shell side*

Nilai  $J_H$  untuk sisi *shell* dapat diketahui dari Fig. 28 Kern (Kern, 1983 [6]) (7)

*Tube side*

Nilai  $J_H$  untuk sisi *tube* dapat diketahui dari Fig. 24 Kern (Kern, 1983 [6]) (8)

7. Menentukan *Thermal Function*

Pada setiap suhu, yaitu  $T_c$  (*hot fluid*) untuk *shell* dan  $t_c$  (*cold fluid*) untuk *tube* diperoleh masing-masing nilai  $c$  (fig.4 kern),  $\mu$  (viscositas) dan konduktivitas termal Fig.1 Kern [6].

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

Dimana:

- $c$  : *Panas Specific* (Btu/lb °F)  
 $k$  : *Konduktivitas thermal*

8. Menentukan nilai *outside film coefficient* ( $h_o$ ) dan *Inside Film Coefficient Shell side*

$$h_o = jH \frac{k}{De} \left[ \frac{C\mu}{k} \right]^{1/3} \phi \quad (10)$$

*Tube side*

$$h_{io} = jH \frac{k}{D} \left[ \frac{C\mu}{k} \right]^{1/3} \phi \quad (11)$$

$$\frac{h_{io}}{\Phi_t} = \frac{h_i}{\Phi_t} \times \frac{ID}{OD}$$

Dimana:

$h_o$  : *Outside film coefficient* (Btu/h.ft °F)

$h_{io}$  : *Inside film coefficient* (Btu/h.ft °F)

9. Perhitungan *clean overall coefficient*,  $U_c$

$U_c$  merupakan *overall heat transfer coefficient* jika tidak terjadi *fouling/kerak*.  $U_c$  yang digunakan dalam perhitungan ini merupakan  $U_c$  *Design* dari Pabrik.

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad (12)$$

Dimana:

$U_c$  = *Overall heat transfer coefficient* (Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F)

10. Perhitungan *dirty coefficient*,  $U_D$

$U_D$  merupakan *overall heat transfer coefficient* jika terjadi *fouling/kerak*.

$$A = N_T \times a'' \times L \quad (13)$$

Dimana:

$A$  = *Heat transfer surface* (ft<sup>2</sup>)

$N_T$  = *Jumlah tube*

$a''$  = *Luas area* (Ft<sup>2</sup>/lin ft), Tabel 10 Kern [6]

$L$  = *Panjang Tube*

Maka :

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta t} \quad (14)$$

Dimana:

$U_D$  = *Overall heat transfer coefficient* (Btu/h.ft<sup>2</sup>.°F)

11. Perhitungan *dirt factor*,  $R_d$

$$R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c \times U_D} \quad (15)$$

Dimana:

$R_d$  = *Fouling factor* (jam/ft<sup>2</sup>.°F/Btu)

12. Perhitungan efisiensi

$$\text{Efisiensi} = \frac{U_D}{U_C} \times 100\% \quad (16)$$

13. Perhitungan *pressure drop*  
*Shell side*

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times D_s \times N + 1}{5,22 \times 10^{10} De \times s \Phi_s} \quad (17)$$

Dimana:

$\Delta P_s$  = Total *Pressure drop* pada *Shell* (psi)

$f$  = *Friction factor shell* (ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup>)

$G_s$  = *Mass velocity* (lb/ jam ft<sup>2</sup>)

$s$  = *Spec. Gravity*

$N + 1$  = Jumlah lintasan melalui *buffle*

*Tube side*

$$\Delta P_t = \frac{f \times G_t^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} D \times s \Phi_t} \quad (18)$$

Dimana :

$\Delta P_t$  = Total *Pressure drop* pada *Tube* (psi)

$f$  = *Fricrion factor shell* (ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup>)

$G_t$  = *Mass velocity* (lb/h.ft<sup>2</sup>)

$s$  = *Spec. Gravity*

$n$  = Jumlah *pass tube*

$D$  = *Inside diameter*

14. Menentukan Nilai  $C_{min}$  dan  $C_{max}$

$$C_{min} = C_{pc} \times W_{Tube} \quad (19)$$

$$C_{min} = C_{ph} \times W_{Tube} \quad (20)$$

15. Menentukan *Number Transfer Unit* (NTU)

$$NTU = \frac{U \times A}{C_{min}}$$

16. Nilai Efektivitas

Perhitungan efektivitas *heat exchanger shell end tube 1-2*

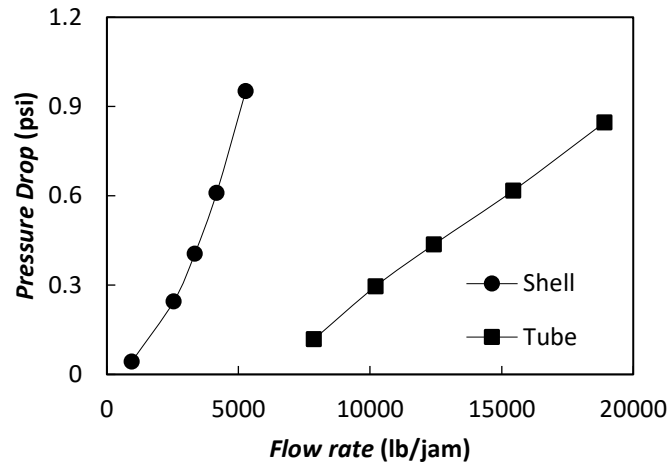
$$\varepsilon = 2 \left\{ 1 + \frac{C_{min}}{C_{max}} \left( 1 + \frac{C_{min}^2}{C_{max}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \times \frac{1 + \exp \left[ -\frac{U \times A}{C_{min}} \left( 1 + \frac{C_{min}^2}{C_{max}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]}{1 + \exp \left[ -\frac{U \times A}{C_{min}} \left( 1 + \frac{C_{min}^2}{C_{max}^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]} \right\} \quad (21)$$

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hubungan Antara *Pressure drop Terhadap Flow rate*

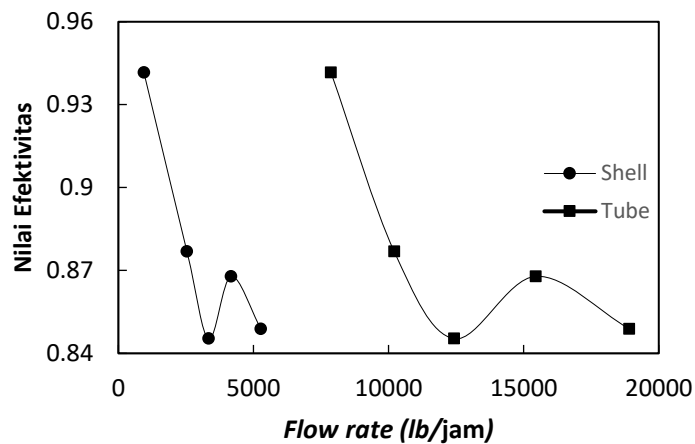
Peningkatan *pressure drop* terjadi pada sisi *shell* dan *tube* seiring dengan meningkatnya *flow rate* pada *shell* dan *tube*. Gambar 2 menunjukkan peningkatan nilai *pressure drop* dikarenakan semakin besar *flow rate* maka akan menyebabkan nilai bilangan *Reynold* semakin besar juga. Nilai bilangan *Reynold* yang besar menyebabkan *pressure drop* yang didapatkan juga akan semakin besar. Hasil *pressure drop* yang didapatkan di bawah batas

maksimal *pressure drop* yang diizinkan yaitu sebesar 5,12 psi pada *shell* dan 1,99 pada *tube*. Dari data yang didapatkan *pressure drop* tidak melebihi batas maksimal yang telah ditetapkan baik pada sisi *tube* maupun *shell*.



Gambar 2. Hubungan antara *pressure drop* terhadap *flow rate*

### 3.2. Hubungan antara Nilai Efektivitas terhadap *flow rate Tube*



Gambar 3. Hubungan antara nilai efektivitas terhadap *flow rate tube*

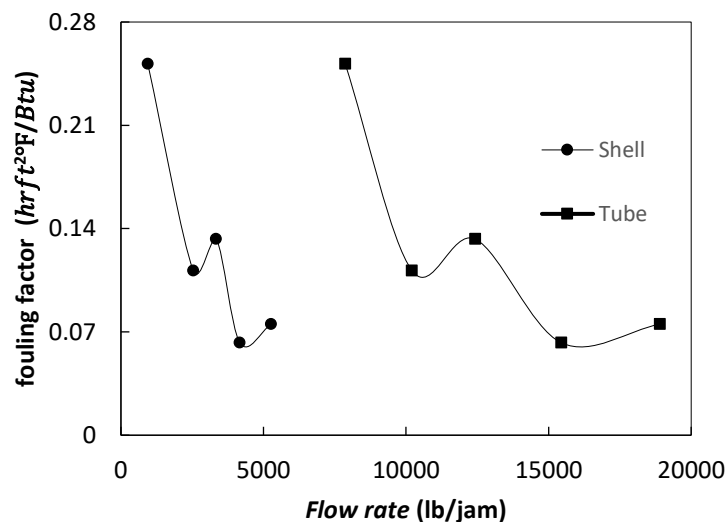
Salah satu faktor yang mempengaruhi peningkatan laju perpindahan panas adalah *flow rate* fluida. Efektivitas perpindahan panas *heat exchanger* semakin kecil seiring dengan semakin besarnya *flow rate* fluida panas pada *tube*. Hal ini terjadi karena *flow rate* fluida panas yang semakin cepat akan menurunkan waktu kontak fluida di dalam *tube* sehingga mempersingkat laju perpindahan panas yang terjadi. Efektivitas pindah panas akan meningkat seiring dengan besarnya *flow rate* fluida dingin yang mengalir di dalam *shell*, hal ini terjadi karena fluida didalam *shell* mengalami pemecahan aliran oleh *baffle* sehingga menghasilkan turbulensi aliran, dengan adanya turbulensi aliran akan meningkatkan perpindahan panas secara konveksi sehingga efektivitas panas akan semakin besar [5].



Gambar 3 menunjukkan efektivitas alat cenderung menurun seiring dengan meningkatnya *flow rate* fluida panas di *tube*. Hal ini sesuai dengan teori di atas yang menyatakan bahwa semakin tinggi *flow rate* fluida panas pada *tube* maka efektivitas alat akan mengalami penurunan. Kondisi tersebut terjadi karena waktu tinggal fluida di dalam *tube* akan semakin pendek seiring dengan semakin cepatnya *flow rate* fluida panas pada *tube*.

Kemudian pada data keempat dengan *flow rate* 15.450 lb/jam memiliki efektivitas lebih tinggi dari pada data ketiga dengan *flow rate* 12.430 lb/jam, hal ini terjadi karena nilai  $\Delta T_{LMTD}$  data keempat jauh lebih rendah dari pada nilai  $\Delta T_{LMTD}$  yaitu sebesar 209°F berbanding dengan 263°F. Hal ini disebabkan semakin besar nilai  $\Delta T_{LMTD}$ , nilai koefisien perpindahan panas total (U) akan semakin kecil sehingga nilai *number transfer unit* (NTU) semakin kecil sehingga nilai efektivitas alat juga akan semakin kecil.

### 3.3. Hubungan antara *Fouling factor* terhadap *Flow Rate Tube*



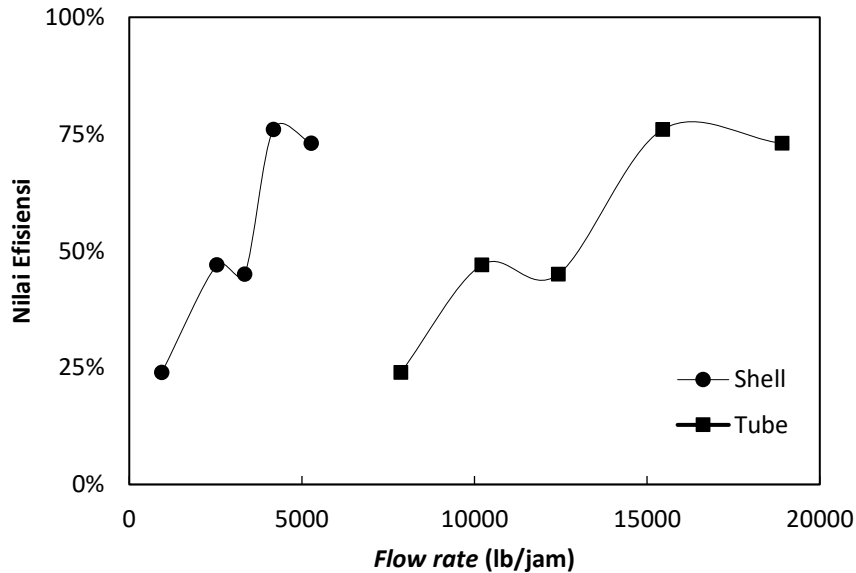
**Gambar 4.** Hubungan antara *fouling factor* terhadap *flow rate tube*

Berdasarkan hasil perhitungan *Fouling factor heat exchanger* didapatkan bahwa nilai *fouling factor heat exchanger* ini lebih besar dibandingkan dari nilai toleansi yang diijinkan (*fouling resistance*) pada *specification sheet* yaitu sebesar 0,004 hr ft<sup>2</sup>°F/Btu. Dari Gambar 4 didapatkan bahwa nilai *fouling factor* cenderung turun seiring dengan meningkatnya *flow rate*. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa nilai *fouling factor* akan turun seiring dengan meningkatnya *flow velocity* [7]. Efektivitas *heat exchanger* berbanding terbalik dengan nilai *fouling factor* dimana semakin besar nilai *fouling factor* maka efektivitas alat akan mengalami penurunan karena adanya hambatan pertukaran panas dikarenakan deposit yang terbentuk. Namun pada penelitian ini didapatkan nilai efektivitas data pertama lebih tinggi dibandingkan data lainnya yang memiliki nilai *fouling factor* lebih rendah. Hal ini terjadi karena laju alir fluida dingin data pertama jauh lebih rendah dibandingkan data lainnya yang mengakibatkan waktu tinggal fluida tersebut lebih lama sehingga meningkatkan nilai efektivitas dari perpindahan panas yang terjadi.

Lebih besarnya nilai *fouling factor heat exchanger* mengidentifikasi bahwa terdapat akumulasi pembentukan deposit pada *heat exchanger*. Besarnya nilai *fouling factor* ini mengidentifikasi bahwa *heat exchanger* E-19 B membutuhkan *maintenance*

untuk membersihkan akumulasi deposit yang terbentuk pada *heat exchanger* agar nantinya performa dari *heat exchanger* ini dapat meningkat.

### 3.4. Hubungan antara Efisiensi terhadap *Flow Rate Tube*



**Gambar 5.** Hubungan antara efisiensi terhadap flow rate tube

Dari Gambar 5 didapatkan hasil peningkatan efisiensi *heat exchanger* seiring dengan peningkatan *flow rate*. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi *heat exchanger* didapatkan bahwa nilai efisiensi berbanding terbalik dengan nilai *fouling factor* dimana semakin rendah nilai *fouling factor* maka nilai efisiensi akan mengalami peningkatan. Peningkatan nilai efisiensi dikarenakan semakin rendah nilai *fouling factor* maka perpindahan panas yang terjadi akan lebih maksimal. Perpindahan panas yang lebih maksimal akan meningkatkan nilai efisiensi dari *heat exchanger*.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Peningkatan *flow rate* pada *tube* dan *shell* mengakibatkan nilai *number transfer unit* (NTU) semakin kecil dan menyebabkan terjadinya penurunan nilai efektivitas pada *heat exchanger*. Didapatkan nilai *Rd* (*Fouling factor*) lebih besar dari *specification sheet* yang ditetapkan yaitu sebesar  $0,004 \text{ jamft}^2\text{°F/Btu}$  yang menyebabkan rendahnya nilai efisiensi sehingga *heat exchanger* ini memerlukan *maintenance* untuk membersihkan deposit yang terbentuk didalam *heat exchanger* ini.

### 4.2. Saran

Untuk meningkatkan kinerja *heat exchanger* E-19 B perlu dilakukan *maintenance*, dikarenakan nilai *Rd* (*Fouling factor*) yang sudah melebihi batas nilai toleransi yang diizinkan pada *specification sheet*.

## REFERENSI

- [1] Kakac, S., Bergles, A. E., Mayinger, F., & Yuncu, H., 2013, *Heat transfer enhancement of heat exchangers*, Vol. 355., Springer Science & Business Media.
- [2] Kothandaraman, C.P., 2006, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, New Age International, New Delhi.
- [3] Holman, J. P., 1984, *Perpindahan kalor*, Edisi ke-2, Erlangga, Jakarta.
- [4] Necati Ozisik, M., 1985, *Heat transfer: A basic approach*, McGraw-Hill, New York.
- [5] Chalim, A., 2019, *Penentuan Number Transfer Unit (NTU) dari Sistem Fluida Propilen Glikol–Air, Untuk Evaluasi Efisiensi Penukar Panas Shell and Tube 1-1*, Seminar Nasional Rekayasa Proses Industri Kimia, Vol. 3, No. 1, 15-20.
- [6] Kern, D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw Hill International Book Company, Japan.
- [7] Awad, M.M., 2012, *Impact of Flow velocity on Surface Particulate Fouling - Theoretical Approach*, Journal of American Science, Vol. 8, No.9, 442-449