

EVALUASI EFISIENSI *HEAT EXCHANGER* (HE - 4000) DENGAN METODE KERN

Muhammad Rais Zain, Asalil Mustain

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

raisandroid@gmail.com, asalil89@polinema.ac.id

ABSTRAK

Proses perpindahan panas merupakan salah satu bentuk transfer energi yang mempunyai peranan penting dalam suatu proses produksi atau operasi seperti halnya industri perminyakan. Salah satu tipe alat penukar panas yang sering dipakai adalah *shell and tube heat exchanger*. Pada Central Processing Area (CPA) di PT Pertamina Tuban, *heat exchanger* (HE – 4000) digunakan untuk memanaskan atau meningkatkan suhu minyak yang akan menuju ke FSO (*Floating Storage Offloading*). Hal ini dilakukan karena minyak yang terproduksi berjenis *Parafinix* (*Wax*) yang dapat membeku pada suhu 80°F. Akan tetapi, kinerja *heat exchanger* di CPA saat ini mengalami penurunan yang disebabkan oleh terbentuknya kerak. Hal tersebut menyebabkan koefisien perpindahan panas (*Ud*) menurun dan mencapai jenuh. Berdasarkan hasil evaluasi dari perhitungan menggunakan metode Kern, nilai *fouling factor* (*Rd*) secara aktual didapat sebesar $0,069018 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$ yang dimana melebihi nilai *Rd* yang ditetapkan yaitu sebesar $0,002 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$. Oleh karena itu, pembersihan perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga kinerja *heat exchanger* agar tetap beroperasi dengan baik.

Kata kunci: *Heat Exchanger, Perpindahan Panas, Fouling Factor*

ABSTRACT

The process of heat transfer is one form of energy transfer that has an important role in a production or operation process as well as the petroleum industry. One type of heat exchanger that is often used is a *shell and tube heat exchanger*. In the Central Processing Area (CPA) at PT Pertamina Tuban, a *heat exchanger* is used to heat or increase the temperature of oil going to the FSO (*Floating Storage Offloading*). This is done because the oil produced is of *Parafinix* (*Wax*) which can freeze at 80 ° F. However, the current performance of the *heat exchanger* in CPA has decreased due to the formation of scale. This causes the coefficient of heat transfer (*Ud*) to decrease and reach saturation. Based on the evaluation results from calculations using the D.Q.Kern method, the actual *fouling factor* (*Rd*) value is $0,069018 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$ obtained which exceeds the specified *Rd* value of $0,002 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$. Therefore, cleaning needs to be done periodically to maintain the performance of the *heat exchanger* to keep it operating properly .

Keywords: *Heat Exchanger, Heat Transfer, Fouling Factor*

1. PENDAHULUAN

PT Pertamina Tuban terdiri dari tiga unit proses, yaitu unit *separating*, unit *sweetening*, dan unit *shipping*. Sebelum minyak didistribusikan ke FSO (*Floating Storage Offloading*) pada unit *shipping*, minyak terlebih dahulu dinaikkan suhunya menggunakan alat

heat exchanger (HE – 4000) agar seminimal mungkin tidak tercipta kerak di dalam pipa selama proses pendistribusian berlangsung. *Heat exchanger* adalah suatu alat yang dimana terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda [1], dimana fluida tersebut keduanya mengalir didalam sistem. Fluida dengan temperatur yang lebih tinggi akan mengalirkan panas ke fluida yang bertemperatur lebih rendah. *Heat exchanger* pada unit *Central Processing Area* (CPA) ini bertipe *shell and tube* yang terdiri dari sejumlah *tube* yang terpasang didalam *shell* yang berbentuk silindris. Terdapat dua fluida yang mengalir, dimana satu fluida mengalir di dalam *tube*, dan yang lainnya mengalir diluar *tube* [2]. *Heat exchanger* (HE – 4000) memanfaatkan aliran panas berupa air formasi yang berasal dari produk bawah alat separator pada unit *separating*. Sehingga, penelitian pada *Heat Exchanger* (HE – 4000) dilakukan untuk mengevaluasi nilai perpindahan panas dan efisiensi performa alat dengan melakukan perhitungan menggunakan metode Kern. Evaluasi dilakukan terhadap nilai koefisien perpindahan panas *clean overall* (U_c), koefisien perpindahan panas *dirty overall* (U_d), *fouling factor* (R_d) dan efisiensi. Solusi dari permasalahan tersebut diharapkan dapat meningkatkan efisiensi perpindahan kalor pada *heat exchanger* karena terjadinya pengurangan pada energi yang dibutuhkan atau penurunan terhadap ukuran *heat exchanger* [3].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Adapun tahapan penelitian adalah sebagai berikut :

2.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data meliputi spesifikasi alat dan desain operasi awal pada *Heat Exchanger* yang diperoleh dari PT Pertamina Tuban. Pengambilan sampel dilakukan di unit *Central Process Area* (CPA) dan *Process Engineer* (PE). Pengambilan sampel meliputi *flowrate* minyak dan air formasi, *temperature in* dan *temperature out shell* dan *tube*.

2.2. Perhitungan

Untuk menghitung *performance* pada alat *Heat Exchanger*, beberapa tahapan penyelesaian menggunakan metode Kern [4] dapat dilakukan sebagai berikut:

1. Menentukan *material* dan *heat balance*

Pemilihan *material* untuk mendesain *heat exchanger* disesuaikan dengan bahan yang akan melewatinya. Perhitungan *heat balance* dimaksudkan untuk mengetahui suhu keluaran dan *flowrate* air pendingin. Perhitungan dapat dilakukan dengan persamaan neraca panas sebagai berikut :

$$Q_s = Q_w$$

$$W_s \times C_{p1} \times (t_2 - t_1) = W_w \times C_{p2} \times (T_1 - T_2)$$

$$Q_w = \frac{W_w}{\rho_w}$$

Keterangan :

W_s = *flowrate crude oil* (lb/hr)

W_w = *flowrate air* (lb/hr)

C_{p1} = *specific heat crude oil* (Btu/lb.°F)

C_{p2} = *specific heat air* (Btu/lb.°F)

T_1 = suhu air masuk (°F)

T_2 = suhu air keluar (°F)

t_1 = suhu *crude oil* masuk (°F)

t_2 = suhu *crude oil* keluar (°F)

2. Menghitung ΔT LMTD (Logarithmic Mean Temperature Difference)

$$\Delta T \text{ LMTD} = \frac{\Delta t_1 - \Delta t_2}{\ln \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}}$$

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1}$$

Nilai Ft didapat dari Figure 19 (Kern, 1950)

$$\Delta T = \Delta T \text{ LMTD} \times Ft$$

3. Menghitung Caloric Temperature pada Shell dan Tube (Tc dan tc)

Perhitungan dilakukan menggunakan figure 17 (Kern, 1950) sehingga diperoleh nilai kc.

Selanjutnya, melakukan perhitungan nilai $\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h}$ sehingga diperoleh nilai Fc untuk menghitung caloric temperature dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\Delta T_c}{\Delta T_h} = \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}$$

$$T_c = T_2 + Fc(T_1 - T_2)$$

$$t_c = t_1 + Fc(t_2 - t_1)$$

4. Menghitung bilangan Reynold (Re)

Perhitungan flow area dilakukan terlebih dahulu pada sisi tube dan shell dengan persamaan sebagai berikut :

Flow Area Shell (as)

$$as = \frac{IDs \times C' \times B}{144 \times Pt}$$

Flow Area Tube (at)

$$at = \frac{Nt \times a't}{144 \times n}$$

Keterangan :

at = flow area

IDs = inside diameter shell

C' = tube clearance

Pt = pitch

a't = tabel 10 (Kern, 1950)

Nt = jumlah tube

N = jumlah pass pada tube

Selanjutnya, menghitung mass velocity (G) pada tube dan shell dengan persamaan sebagai berikut :

$$G = \frac{W \text{ s/t}}{a \text{ s/t}}$$

Keterangan :

G = mass velocity

W s/t = flow rate shell/tube

a s/t = flow area shell/tube

Setelah diperoleh nilai G dan a s/t, maka bilangan Reynold pada tube dan shell dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Nre = \frac{D \times G}{\mu}$$

Keterangan :

D = diameter ekivalen pada *shell* dan *inside diameter* pada *tube*

μ = viskositas fluida pada *temperature caloric*

5. Menghitung nilai h_o , h_i , dan h_{io}

Untuk menghitung nilai h_o , h_i , dan h_{io} perlu mencari jH dan k untuk mencari nilai bilangan tak berdimensi $k \left(\frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}}$ pada *tube* dan *shell*.

Nilai jH diperoleh dari grafik *figure 28* untuk *shell* dan grafik *figure 24* untuk *tube* (Kern, 1950). Nilai k diperoleh dari grafik *figure 16* (Kern, 1950) untuk fluida hidrokarbon. Perhitungan h_o untuk *shell* dengan persamaan sebagai berikut :

$$h_o = jH_s \times \frac{k}{De} \times k \left(\frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \times \phi_s$$

Perhitungan h_{io} untuk *tube* dengan persamaan sebagai berikut :

$$h_i = jH_t \times \frac{k}{ID} \times k \left(\frac{C_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \times \phi_s$$

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

Keterangan :

h = heat transfer coefficient

jH = factor untuk heat transfer

ϕ_s / ϕ_t = factor koreksi pada *shell/tube*

6. Menghitung *Fouling Factor* (R_d)

R_d merupakan factor kekotoran pada sisi dalam/luar *tube* yang diperoleh dengan menghitung *overall heat transfer coefficient* saat kondisi bersih dan desain dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_d = \frac{Q}{A \times \Delta T}$$

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$$

Nilai A diperoleh dengan persamaan sebagai berikut :

$$A = a'' \times L \times Nt$$

Keterangan :

a'' = tabel 10 (Kern, 1950)

L = panjang *tube*

Nt = jumlah *tube*

7. Menghitung *Pressure Drop* (ΔP)

Pressure drop merupakan penurunan tekanan yang terjadi pada suatu aliran karena gesekan dinding/saluran. Sebelum menghitung *pressure drop*, terlebih dahulu menghitung nilai f . Nilai f diperoleh pada grafik *figure 19* (Kern, 1950) untuk *shell* dan grafik *figure 26* (Kern, 1950) untuk *tube*.

Pressure Drop pada *Shell*

Sebelum menghitung nilai ΔP_s , kita menghitung nilai *cross* ($N+1$) dengan persamaan sebagai berikut :

$$N + 1 = \frac{12 \times L}{B}$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G_s^2 \times ID_s \times (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} \times De \times S_g \times \phi_s}$$

Pressure Drop pada Tube

Perhitungan *pressure drop* pada *tube* dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta Pt = \frac{f \times Gt^2 \times L \times n}{5,22 \times 10^{10} \times IDt \times Sg \times \phi t}$$

$$Uc = \frac{hio \times ho}{hio + ho}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data spesifikasi alat dan *design* operasi *Heat Exchanger* (HE – 4000) yang digunakan pada PT Pertamina Tuban dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2 berikut:

Tabel 1. Data spesifikasi alat *Heat Exchanger* (HE – 4000)

HE - 4000	Shell		Tube		Satuan
	Notasi	Dimensi	Notasi	Dimensi	
Fluida	Crude Oil		Water Formation		
	Ws	210200	Wt	367850	lb/hr
Suhu Masuk	t ₁	130	T ₁	205	°F
Suhu Keluar	t ₂	155	T ₂	197	°F
Beda Suhu	Δt	25	ΔT	8	°F

Tabel 2. Data *design* operasi *Heat Exchanger* (HE – 4000)

HE - 4000	Shell			Tube		
	Notasi	Satuan	Dimensi	Notasi	Satuan	Dimensi
Dimensi Luar	Ods	inch	611861	Odt	inch	1,5
Dimensi Dalam	Ids	inch	60,79	ldt	inch	1,23
Jumlah <i>Baffle</i>	N	unit	16			
Jumlah <i>Pass</i>	N	unit	2	N	unit	8
BWG				10		
Jarak Antar <i>Tube</i>				C'	inch	0,375
Panjang <i>Tube</i>				L	ft ²	20
Jumlah <i>Tube</i>				Nt	unit	756
<i>Pitch</i>				Pt	inch	1,875
Jarak Antar <i>Baffle</i>				B	inch	12,75
Surface per lin ft, ft ²				a'	ft2	0,3925
<i>Flow Area</i>				a't	inch ²	1,19
Susunan <i>Tube</i>	Triangular Pitch					

Tabel 3. Data operasi aktual *Heat Exchanger* (HE – 4000)

HE - 4000	Shell		Tube		Satuan
	Notasi	Dimensi	Notasi	Dimensi	
Fluida	Crude Oil		Water Formation		
	Ws	210200	Wt	367850	lb/hr
Suhu Masuk	t ₁	124	T ₁	210	°F
Suhu Keluar	t ₂	152	T ₂	205	°F
Beda Suhu	Δt	32	ΔT	8	°F

3.1. Coefficient Clean Overall

Coefficient Clean Overall (Uc) adalah hantaran perpindahan panas dalam keadaan bersih, sedangkan *Coefficient Dirt Overall* (Ud) adalah hantaran perpindahan panas dalam keadaan kotor. Secara teoritis, nilai Uc harus lebih besar daripada nilai Ud. Hal ini dikarenakan perpindahan panas saat *Heat Exchanger* dalam keadaan bersih lebih baik daripada dalam keadaan kotor karena masih sedikitnya hambatan yang mengganggu saat proses perpindahan panas terjadi. Hasil perhitungan nilai untuk Uc aktual sebesar $39,80386 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$ sedangkan Uc desain sebesar $205,3689 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$.

3.2. Coefficient Dirt Overall

Nilai rata-rata *Coefficient Dirt Overall* (Ud) aktual sebesar $10,62239 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$ dan Ud desain sebesar $8,079525 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$. Hal tersebut menunjukkan bahwa perhitungan sesuai dengan nilai teori yaitu nilai Uc lebih besar daripada nilai Ud. Karena nilai perpindahan panas dalam keadaan kotor harus lebih kecil daripada perpindahan panas dalam keadaan bersih.

3.3. Fouling Factor

Fouling Factor (Rd) menunjukkan besarnya faktor pengotor, dikarenakan adanya endapan sehingga memberikan tahanan tambahan terhadap aliran panas. Harga Rd actual ($0,069018 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$) diatas Rd teoritis yaitu $\pm 0,002 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$ (*appendix fouling factor kern*) menunjukkan terjadinya *fouling rate* yang relative lebih besar. Semakin lama *heat exchanger* digunakan akan menyebabkan pengotoran (*fouling*) pada bagian dalam *heat exchanger* tersebut. Lapisan pengotoran ini menyebabkan penambahan tahanan termal dan menyebabkan laju perpindahan panas pada *heat exchanger* berkurang [5], yang pada akhirnya akan berpengaruh pada kinerja dari *heat exchanger*. Pada penelitian muchammad [6], hasil perhitungan didapat nilai *fouling factor* Rd = 0,02027 ft² hroF/BTU jauh lebih besar dari nilai toleransi yang diijinkan (*fouling resistance*) pada specification sheet yaitu 0,0024 ft² hro F/BTU, dari hal ini maka dapat disimpulkan bahwa kotoran dan deposit yang menempel pada tube merupakan penyebab utama menurunnya performa *heat exchanger*.

3.4. Efisiensi

Heat exchanger (HE – 4000) pada PT. Pertamina EP Asset 4 Sukowati Field ini digunakan untuk memindahkan panas dari panas air formasi ke panas minyak sebelum didistribusikan ke FSO. Dari hasil perhitungan, nilai koefisien perpindahan panas *overall*

secara aktual didapat sebesar $10,62339 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$ dan nilai koefisien perpindahan panas overall desain didapat sebesar $8,07925 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$. Sehingga didapatkan nilai efisiensi perpindahan panas alat *Heat Exchanger* (HE – 4000) sebesar **76,0613%** dengan cara membandingkan nilai perpindahan panas secara aktual dan perpindahan panas desain. Menurunnya performa *heat exchanger* juga disebabkan banyak hal. Pada penelitian Mufid kenaikan *flowrate* air panas mengakibatkan menurunnya *Number of Transfer Unit* (NTU). Hal ini terjadi disebabkan oleh semakin besarnya kapasitas kalor minimum yang diakibatkan oleh kenaikan *flowrate* air panas [7].

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa nilai efisiensi perpindahan panas pada alat *Heat Exchanger* (HE – 4000) adalah sebesar **76,0613%**. *Coefficient clean overall* (U_c) aktual memiliki nilai lebih kecil dari U_c desain dengan nilai U_c aktual sebesar $39,80386 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$ dan U_c desain sebesar $205,3689 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$. Nilai *coefficient dirt overall* (U_d) aktual lebih besar dari nilai desain yaitu nilai U_d aktual sebesar $10,62239 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$ dan U_d desain sebesar $8,079525 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$. Nilai R_d aktual sebesar $0,069018 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}$ diatas batas nilai R_d pada literatur yaitu sebesar $\pm 0,002 \frac{\text{hr.ft}^2.\text{°F}}{\text{BTU}}$. Hal tersebut menunjukkan bahwa *heat exchanger* perlu dilakukan pembersihan (*cleaning*) karena telah terjadi pengotoran.

REFERENSI

- [1] World Steel Association, 2012, *The White Book of Steel*, diambil dari: www.worldsteel.org/steelstory.
- [2] Muchammad, M., 2017, *Analisis Penurunan Performa Heat Exchanger Stabilizer Reboiler 011E120 Di PT. Pertamina Refinery Unit IV Cilacap*, Momentum, Vol. 13, No. 2, 72-77.
- [3] Thirumarimurugan, M., Kannadasan, T., Ramasany, E., 2008, *Simulation Studies on a Cross Flow Plate Turbulator Heat Exchanger*, American Journal of Applied Sciences, Vol. 5, No. 10, 1318-1321.
- [4] Kern, D.Q., 1983, *Process Heat Transfer*, McGraw Hill International Book Company, Japan.
- [5] Cengel, Y.A., 2006, *Heat Transfer: A Practical Approach* (2nd Ed), McGraw- Hill Higher Education, Ohio.
- [6] Holman, J.P., 2010, *Heat Transfer*, Tenth Edition, McGraw-Hill, New York.
- [7] Mufid, M., Hakim, A.R., dan Widiono, B., 2019, *Pengaruh Pitch Turbulator Terhadap NTU Double Pipe Heat Exchanger*, Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan, Vol 3, No. 1, 27-33.