

EVALUASI KINERJA HEAT EXCHANGER DENGAN METODE FOULING FAKTOR

Bambang Setyoko \*)

Abstract

The performance of heat exchangers usually deteriorates with time as a result of accumulation of deposits on heat transfer surfaces. The layer of deposits represents additional resistance to heat transfer and causes the rate of heat transfer in a heat exchanger to decrease. The net effect of these accumulations on heat transfer is represented by a fouling factor Rf, which is a measure of the thermal resistance introduced by fouling.

In this case, the type of fouling is the precipitation of solid deposits in a fluid on the heat transfer surface. The mineral deposits forming on the inner and the outer surfaces of fine tubes in the heat exchanger. The fouling factor is increases with time as the solid deposits build up on the heat exchanger surface. Fouling increases with increasing temperature and decreasing velocity.

In this research, we obtain the coefisien clean overal 5,93 BTU/h.ft².°F, Dirt factor 0,004 BTU/h.ft² °F, Pressure drope in tube 2,84 . 10³ Psi and pressure drope in shell 4,93 . 10⁴ Psi.This result are less than the standard of parameter. Its means this Heat exchanger still clean relativity and can operate continously without cleaning.

Key words : heat exchanger, fouling factor.

Pendahuluan

Alat penukar panas (Heat Exchanger) adalah suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang mempunyai temperatur yang lebih tinggi ke fluida lain yang temperaturnya lebih rendah, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dalam hal ini Heat Exchanger digunakan sebagai pemanas pendahuluan sebelum crude oil masuk dalam furnace dengan menggunakan residu sebagai media pemanasnya. Hal ini diperhitungkan untuk menghemat biaya dalam penyediaan bahan bakar furnace.

Heat exchanger yang digunakan adalah tipe shell and tube, dimana shell dilalui oleh fluida panas (residu) sedangkan tube dilalui oleh fluida dingin (crude oil). Heat exchanger ini juga berfungsi untuk menurunkan temperatur dari solar sebelum masuk ke cooler. Apabila heat exchanger tersebut telah dioperasikan beberapa waktu, maka akan terjadi penurunan unjuk kerja dari alat tersebut.

Penurunan unjuk kerja bisa jadi disebabkan oleh terbentuknya kerak, korosi, kebocoran, maupun aliran fluida yang menyebabkan friksi terhadap dinding alat. Penurunan kinerja ini bisa dilihat dari parameter-parameter seperti pressure drop tinggi, serta dirt factor (Rd) melebihi harga yang diizinkan. Berdasarkan pada pertimbangan diatas maka unjuk kerja alat penukar panas dapat dievaluasi secara periodik.

Tujuan penelitian yaitu mengevaluasi unjuk kerja heat exchanger yang berfungsi sebagai pemanas crude oil yang menggunakan solar sebagai media pemanas dengan menghitung dirt factor dan pressure drop untuk mengetahui unjuk kerja pemanas crude oil berdasarkan data design dan aktual dari data sheet.

Manfaat yang diperoleh dengan mengetahui unjuk kerja dari heat exchanger antara lain adalah untuk mengetahui apakah heat exchanger tersebut perlu dibersihkan atau tidak agar lebih efisien dalam transfer panas dan mengetahui heat exchanger tersebut masih aman dioperasikan atautkah sudah perlu diganti.

Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses pertukaran panas yang terjadi antara benda panas dan benda dingin, yang masing – masing disebut source and receiver (sumber dan penerima). Ada 3 macam cara perpindahan panas yaitu konduksi, konveksi dan radiasi.

Perpindahan panas konduksi adalah mekanisme perpindahan panas yang terjadi dengan suatu aliran atau rambatan proses dari suatu benda yang bertemperatur lebih tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah atau dari suatu benda ke benda lain dengan kontak langsung. Dengan kata lain proses perpindahan panas secara molekuler dengan perantaraan molekul – molekul yang bergerak. Perpindahan panas konduksi dapat berlangsung pada zat padat, cair dan gas. Adapun untuk menghitung perpindahan panas konduksi dapat dipergunakan rumus sebagai berikut:

Q = (K A ΔT) / x .....(1)

Perpindahan panas konveksi adalah mekanisme perpindahan panas yang terjadi dari satu benda ke benda yang lain dengan perantaraan benda itu sendiri. Perpindahan panas konveksi ada 2 macam yaitu konveksi paksa dan konveksi bebas.

\*) Staf Pengajar Jurusan D III Teknik Mesin Fakultas Teknik Undip

Konveksi alami adalah perpindahan molekul-molekul didalam zat yang dipanaskan karena adanya perbedaan density. Untuk menghitung perpindahan panas secara konveksi bebas dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = h A \Delta T \dots\dots\dots(2)$$

Harga dari h dipengaruhi oleh:

- Kekasaran
- Temperatur
- Densitas
- Viskositas dan
- Panas

Konveksi paksa yaitu perpindahan panas konveksi yang berlangsung dengan bantuan tenaga lain, misalnya adalah udara yang dihembuskan diatas plat oleh kipas.

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain dengan bantuan gelombang elektromagnetik, dimana tenaga ini akan diubah menjadi panas jika tenaganya diserap oleh benda yang lain. Untuk menghitung besarnya panas yang dipancarkan dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = e A \sigma T^4 \dots\dots\dots(3)$$

Khusus untuk benda hitam sempurna menurut Hukum Steven Boltzman:

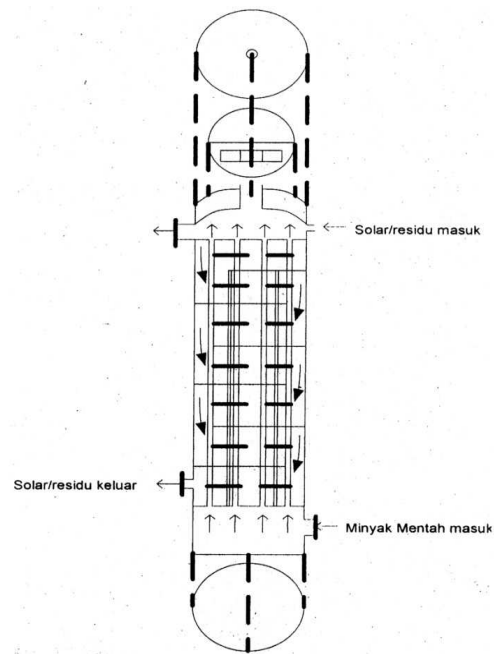
$$Q = A T^4 \sigma \dots\dots\dots(4)$$

Dimana :  $\sigma = 0,174. 10^{-8} \text{ BTU/ jam ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

**Metodologi Penelitian**

**Bahan/Alat - Heat Exchanger**

Heat Exchanger yang digunakan adalah tipe shell and tube dimana crude oil mengalir melalui tube-tubanya, dan residu mengalir dalam shell dengan arah berlawanan (counter flow). Heat exchanger ini dipasang secara vertikal dimana residu mengalir pada shell dari bagian atas menuju bagian bawah, sedangkan crude oil mengalir dari bagian bawah menuju bagian atas tube, sehingga sepanjang shell dan tube tadi terjadi pertukaran kalor antara crude oil dengan residu.



Gb. 1. Heat Exchanger

**Analisa Perhitungan**

Metode penelitian didasarkan pada perhitungan :

**Heat duty**

Untuk mengetahui besarnya panas yang dapat ditransfer dari fluida panas ke fluida dingin pada HE dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus:

$$Q = m_h. C_p. \Delta T \dots\dots\dots(5)$$

**LMTD (Log Mean Temperatur Difference)**

Untuk menghitung suhu rata – rata dari suatu fluida yang mengalir dalam HE dapat dihitung dengan rumus:

$$LMTD = \frac{\Delta th - \Delta tc}{\ln \frac{\Delta th}{\Delta tc}} \dots\dots\dots(6)$$

**Temperatur kalorik**

Yaitu temperatur yang sesuai dengan masing – masing stream. Temperatur kalorik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

- Untuk fluida panas

$$T_c = T_2 + Fc (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(7)$$

- Untuk fluida dingin

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

**Flow Area**

Yaitu luasan yang dilalui oleh masing – masing fluida. Flow area dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

- Pada fluida panas

$$a_s = \frac{ID_s \cdot C \cdot B}{144 \cdot Pt} \dots\dots\dots(8)$$

- Pada fluida dingin

$$a_t = \frac{Mt \cdot At}{144 \cdot n}$$

**Kecepatan massa**

Yaitu kecepatan massa dari masing – masing fluida. Kecepatan massa dapat dihitung dengan mempergunakan rumus:

- Pada fluida panas

$$G_s = \frac{m_s}{a_s} \dots\dots\dots(9)$$

- Pada fluida dingin

$$G_t = \frac{m_t}{a_t}$$

**Reynold Number**

Bilangan Reynold dapat dihitung dengan rumus

- Pada fluida panas

$$Res = \frac{De \cdot G_s}{\mu} \dots\dots\dots(10)$$

- Pada fluida dingin

$$Ret = \frac{IDt \cdot Gt}{\mu}$$

**Faktor dimensi untuk heat exchanger (JH)**

Faktor dimensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

- Untuk fluida panas  
JH diperoleh dari figure 28 kern dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Res.
- Untuk fluida dingin  
JH didapat dari figure 24 kern dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari Ret an L/D

**Bilangan Prandtl (Pr)**

Bilangan Prandtl dapat dihitung dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$Pr = \frac{Cp \cdot \mu}{K} \dots\dots\dots(11)$$

Harga dari Cp didapat dari figure 4 Kern dengan mengetahui terlebih dahulu harga dari tc dan <sup>0</sup>API.

Harga dari K didapat dari figure 1 Kern dengan mengetahui terlebih dahulu harga dari tc dan <sup>0</sup>API.

**Koefisien perpindahan panas**

Koefisien perpindahan panas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\frac{hi}{\phi t} = \partial H \times \frac{K}{IDt} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(12)$$

**Temperatur pada dinding tube**

Temperatur pada dinding tube dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$tw = tc + \frac{h_o / \phi s}{h_o / \phi t + h_o / \phi s} (Tc - tc) \dots\dots\dots(13)$$

$$\frac{h_{i0}}{\phi t} = \frac{h_{i0}}{\phi t} \times IDt \dots\dots\dots(14)$$

**Rasio viskositas fluida**

Rasio viskositas fluida dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

Pada shell side dan tube side :

$$\phi s = \left( \frac{\mu}{\mu_w} \right) \dots\dots\dots(15)$$

Dimana  $\mu_w$  diperoleh dari Maxwell halaman 164 dengan terlebih dahulu mengetahui harga dari tw dan <sup>0</sup>API fluida panas dan dingin.

**Koefisien perpindahan panas terkoreksi**

Koefisien perpindahan panas terkoreksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

- Pada tube side

$$hi = \phi t \times \partial H \times \frac{K}{IDt} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(16)$$

- Pada dinding tube

$$h_{i0} = \phi t + \frac{h_i}{\phi t} \times IDt \dots\dots\dots(17)$$

- Pada dinding shell side

$$h_o = \phi s \times \partial H \times \frac{K}{De} Pr^{1/3} \dots\dots\dots(18)$$

**Koefisien clean overal**

Koefisien clean overall adalah hantaran perpindahan panas pada HE pada saat heat exchanger dalam keadaan bersih. Koefisien clean overal dapat dihitung dengan mempergunakan rumus sebagai berikut:

$$Ud = \frac{Qt}{Nt \cdot La'' \cdot LMTD} \dots\dots\dots(19)$$

a<sup>11</sup> didapat dari tabel 10 kern.

### Fouling factor / dirty factor

*Fouling factor* adalah hambatan perpindahan panas karena adanya endapan – endapan didalam HE. *Fouling factor* ini dipengaruhi oleh beberapa hal antara lain: jenis fluida, temperatur, jenis material *tube*, kecepatan aliran serta lamanya operasi.

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \cdot U_d} \dots\dots\dots (20)$$

### Pressure drope

*Pressure drope* adalah penurunan tekanan maksimal yang diperbolehkan dalam HE apabila suatu fluida melaluinya. Penurunan tekanan ini semakin besar dengan bertambahnya *fouling factor* pada HE karena digunakan terlalu lama. *Pressure drope* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta P_s = \frac{f G_s^2 (N + 1)}{5,22 \times 10^{10} D_c S G \phi_s} \dots\dots\dots (21)$$

### Hasil dan Pembahasan Data design heat exchanger

Tabel 1. Data spesifikasi Heat Exchanger

Uraian	Shell			Tube		
	Notasi	Satuan	Dimensi	Notasi	Satuan	Dimensi
Diameter luar	ODs	Inch	31,614	ODt	Inch	1
Diameter dalam	IDs	Inch	30,748	IDt	Inch	
Jumlah baffle	N	Unit	4		Unit	
Jumlah pass	n	Unit	1		Unit	1
Jenis fluida			Solar			Crude oil
BWG						14
Jarak antar tube				C	Inch	0,25
Panjang tube				L	Ft	10
Jumlah tube				Nt	Unit	382
Pitch triangular				Pt	Inch	1,25
Jarak antar baffle				B	Inch	23,623

### Data kondisi operasi heat exchanger

Tabel 2. Data kondisi operasi Heat Exchanger.

Uraian	Satuan	SHELL		TUBE	
		Notasi	Dimensi	Notasi	Dimensi
Flowrate	Liter/ hari	Ws	108433	Wt	315931
Suhu masuk	<sup>0</sup> F	T <sub>1</sub>	482	t <sub>1</sub>	95
Suhu keluar	<sup>0</sup> F	T <sub>2</sub>	238,2	t <sub>2</sub>	183,2
Beda suhu	<sup>0</sup> F		243,8		88,2
SG 60/60 <sup>0</sup> F			0,8561		0,8521
<sup>0</sup> API			33,78		34,56
Pressure drop ijin	Psi		10		10

### Tabel Hasil Perhitungan

Tabel 3. Hasil perhitungan fouling factor.

No	Uraian	Satuan	Tube	Shell
1	Neraca panas	BTU/ jam	1244505,21	1269463,54
2	LMTD	<sup>0</sup> F	211,7	
3	Calorik temperatur	<sup>0</sup> F	132,04	340,59
4	Flow area	Ft <sup>2</sup>	1,45	1,009
5	Kecepatan massa	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>0</sup> F	16154,063	4422,8275
6	Viskositas	lb/ ft jam	5,19332	8,91186
7	Diameter	Ft	0,0695	0,146
8	Bilangan reynold		144,20	880,36
9	Koefisien heat exchanger	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>0</sup> F	7,94	24,33
10	Temperatur dindig tube	<sup>0</sup> F	295,98	
11	Viskositas pada dinding tube	lb/ ft jam	2,03	2,03
12	Perbandingan viskositas dalam dan luar tube	lb/ ft jam	1,21	0,94
13	Koefisien perpindahan panas terkoreksi	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>0</sup> F	9,60	22,87
14	Coefficient clean overall	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>0</sup> F	5,93	
15	Coefisien design	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>0</sup> F	5,87	
16	Dirt factor	BTU/ jam ft <sup>2</sup> <sup>0</sup> F	0,00149	

17	<i>Dirt factor</i> yang diijinkan	BTU/ jam ft <sup>2</sup> °F	0,004	
18	<i>Pressure drope</i>	Psi	2,84 . 10 <sup>-3</sup>	4,93 . 10 <sup>-4</sup>
19	<i>Pressure drope</i> ijin	Psi	10	10

### Pembahasan

Dari hasil perhitungan panas yang diterima oleh *crude oil* adalah 1269463,54 Btu/jam sedangkan panas yang diberikan solar adalah 1244505,21 Btu/jam, jadi ada perpindahan panas ke lingkungan sebesar 24958,33 Btu/jam.

Temperatur kalorik pada *tube* lebih rendah dari temperatur kalorik pada *shell* sehingga pada temperatur yang lebih rendah itu maka viscositasnya lebih tinggi.

Koefisien perpindahan panas pada *shell* lebih tinggi daripada koefisien perpindahan panas pada *tube*, sehingga pada *shell* lebih cepat proses transfer panasnya. Sedang *tube* lebih lambat sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan panas ke lingkungan.

*Coeffisien clean overal* sebesar 5,93 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F. hal ini menunjukkan bahwa hantaran perpindahan panas dalam keadaan bersih lebih tinggi bila dibandingkan hantaran perpindahan panas jika sudah ada endapan atau sudah beroperasi yaitu sebesar 5,87 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F.

Terlihat bahwa hasil *dirt factor* hasil perhitungan lebih rendah dari *dirt factor* yang diizinkan, dengan demikian *Heat exchanger* masih dalam keadaan baik dan layak operasi.

Terlihat bahwa *pressure drope* hasil perhitungan jauh lebih kecil dari *pressure drope* izin maka *heat exchanger* masih layak pakai dan waktu pembersihan masih bisa ditunda.

### Kesimpulan

Dari analisa dan perhitungan di atas dapat diambil kesimpulan berikut :

1. *Heat Exchanger* adalah salah satu alat penukar panas yang efektif.
2. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa panas yang diberikan oleh solar tidak semuanya diterima oleh *crude oil*. Hal ini menunjukkan bahwa adanya panas yang terbuang ke lingkungan.
3. Perpindahan panas terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi.
4. *Heat Exchanger* masih dalam kondisi bersih, hal ini dapat dilihat dari harga *fouling faktor* hasil analisa lebih kecil dibandingkan dengan *fouling faktor* yang diijinkan yaitu 0,00149 dibanding 0,004.
5. Dilihat dari *pressure drop* yang terjadi di dalam *heat exchanger* pada *shell* dan *tube*, jauh lebih kecil dari *pressure drop* yang diijinkan. Maka *heat exchanger* masih layak digunakan dan tidak perlu diadakan pembersihan.

### Saran

1. Pengecekan temperatur dan tekanan yang keluar masuk dari *heat exchanger* harus benar-benar diperhatikan agar sesuai dengan temperatur dan tekanan yang layak operasi.
2. Agar tidak terlalu banyak panas yang terbuang ke lingkungan maka bagian luar *shell* diberi isolasi panas lagi.
3. Temperatur *crude oil* yang keluar dari *heat exchanger* diusahakan semaksimal mungkin agar bahan bakar yang digunakan pada furnace tidak terlalu banyak.

### Daftar Notasi

- h = indeks untuk fluida panas
- c = indeks untuk fluida dingin
- s = indeks untuk bagian *shell*
- t = indeks untuk bagian *tube*
- Q = kecepatan perpindahan panas (BTU/ jam)
- K = konduktivitas thermal (BTU/ jam)
- A = luas penampang perpindahan panas (ft<sup>2</sup>)
- ΔT = beda temperatur (°F)
- x = jarak lintas aliran panas (ft)
- h = koefisien perpindahan panas (BTU/ jam ft<sup>2</sup> °C)
- e = emisivitas (0 s/d 1)
- σ = konstanta proporsional (BTU/ jam ft<sup>2</sup> °C)
- m = *flow rate* aliran fluida panas (lb/ jam)
- C<sub>p</sub> = koefisien panas spesifik (BTU/ lb °F)
- F<sub>c</sub> = kalorik *fraktion*
- ID = diameter dalam (ft), ID diperoleh dari tabel 10 kern dengan terlebih dulu mengetahui harga – harga dari OD dan BWG.
- OD = diameter luar (in)
- C = jarak antar *tube* (C = Pt – ODt)
- B = jarak antar *baffle* (in)
- P = pitch (in)
- a = flow area (ft<sup>2</sup>)
- N<sub>t</sub> = jumlah *tube*
- N = jumlah passes
- G = tekanan aliran fluida (lb/ ft<sup>2</sup>)
- De = diameter equivalent (ft), De didapat dari figure 29 kern
- μ = viskositas (lb/ jam ft) , μ didapat dari Maxwell halaman 164
- a<sup>11</sup> = luas permukaan *tube* per ft bagian luar (ft<sup>2</sup>/ ft)

### Daftar Pustaka

1. Cengel, Y.A., (2004), “*Heat Transfer A Practical Approach*”, 2<sup>nd</sup> Edition in SI Units, Mc Graw Hill Book, Singapore
2. Kreith, F. dan Prijono, A., (1997), “*Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*”, Ed. Ketiga, Penerbit Erlangga, Jakarta.
3. Kern, D.Q., (1950), “*Proses Heat Transfer*”, Mc Graw-Hill. Book Co.

4. Ludwig, E., (1965), "*Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants*", Vol.3, Houston, Texas : Gulf Publishing Co.
5. Nelson, W., (1958), "*Petroleum Refinery Engineering*", Fourth ed. Mc Graw- Hill Book Co.
6. Sitompul, T.M., (1993), "*Alat Penukar Kalor*", PT. Karsa Bayu Bangun, Perkasa Raja Grafika Persada, Jakarta.