

Pengaruh *Fouling Factor* Terhadap Performa *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube*

Handini Novita Sari^{*1}, I Made Arsana², Muchlas Hidayatulloh³
Departement of mechanical engineering, Universitas Negeri Surabaya

^{1,2} Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Surabaya 60231, (031) 8280383

³Jurusan Mesin, Fakultas Teknik

e-mail: ^{*1}handinisari@unesa.ac.id, ²madearsana@unesa.ac.id,

³muchlashidayatulloh@unesa.ac.id

Abstrak

Heat exchanger atau yang sering dikenal dengan sebutan alat penukar kalor (APK) merupakan suatu alat yang berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin, dimana proses pertukaran panas yang terjadi pada *heat exchanger* disebabkan adanya perbedaan temperatur. Penggunaan *heat exchanger* dalam kurun waktu yang lama dan secara terus menerus akan menyebabkan terjadinya *fouling* (pengotoran) di bagian dalam *heat exchanger*. *Fouling* (pengotoran) tersebut akan berdampak terhadap kinerja *heat exchanger*. Semakin tinggi nilai *fouling* (pengotoran) pada *heat exchanger*, maka kinerja *heat exchanger* juga akan menurun, sehingga perlu dilakukan analisis lebih lanjut bagaimana pengaruh *fouling* (pengotoran) pada *heat exchanger* terhadap laju perpindahan panas aktual dan efektivitas *heat exchanger*. Penelitian ini menggunakan tipe *heat exchanger* jenis *shell and tube* dengan spesifikasi alirannya adalah counter flow, one pass, dengan baffle bertipe single segmental, fluida yang digunakan adalah Sollar pada shell dengan suhu masuk 536 °F ke 248 °F dan fluida minyak mentah pada tube dengan suhu masuk 95 °F ke 208,4 °F. Berdasarkan hasil perhitungan, tahanan panas dalam keadaan bersih didapatkan (UC) 157.42 BTU/ jam.ft².°F, sedangkan tahanan panas dalam keadaan kotor (UD) sebesar 9.28 BTU/ jam.ft².°F sehingga didapatkan Nilai Faktor Pengotoran (Rd) sebesar 0,101 dan nilai efektifitas HE sebesar 63,48 %.

Kata kunci— Alat penukar kalor, *Shell and tube*, Faktor Pengotoran, Efektifitas.

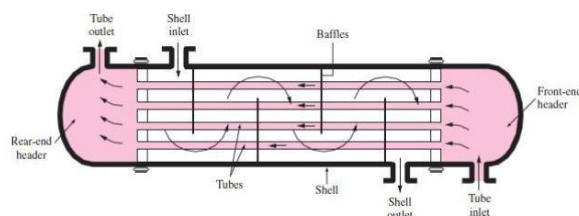
Abstract

A *heat exchanger* is a device that functions both as a heater and as a cooler, where the heat exchange process that occurs in the *heat exchanger* is caused by a temperature difference. The use of *heat exchangers* for a long time and continuously will cause *fouling* (dirt) on the inside of the *heat exchanger*. This *fouling* will have an impact on the performance of the *heat exchanger*. The higher the *fouling* value in the *heat exchanger*, the performance of the *heat exchanger* will also decrease, so it is necessary to further analyze how the effect of *fouling* on the *heat exchanger* on the actual heat transfer rate and the effectiveness of the *heat exchanger*. This study uses a *shell and tube* type *heat exchanger* with a counter flow, one pass flow specification, with a single segmental baffle type, the fluid used is Solar in shell with an inlet temperature of 536 °F to 248 °F and crude oil in a tube with a temperature of 536 °F to 248 °F. in. 95°F to 208.4°F. Based on the calculation results, the heat resistance in a clean state (UC) is 157.42 BTU/hour.ft².°F, while the heat resistance in a dirty state (UD) is 9.28 BTU/hour.ft².°F so that the Impurity Factor Value (Rd) of 0.101 and the value of the effectiveness of the *heat exchanger* is 63.48%.

Keywords— *Shell and tube*, *Heat exchanger*, *Fouling factor*, Effectiveness.

1. PENDAHULUAN

Heat exchanger adalah alat penukar kalor (APK) yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua fluida dengan temperatur yang berbeda tanpa mencampur fluida yang satu dengan yang lain. Proses yang terjadi pada HE tersebut dimanfaatkan untuk memindahkan kalor dari fluida bersuhu tinggi menuju fluida bersuhu rendah pada suatu sistem, yang biasanya berfungsi sebagai pendingin ataupun pemanas [1]. Penukar panas banyak digunakan di industry aplikasi sebagai komponen penting disemua system termal. *Heat exchanger* jenis *Shell and tube* ini merupakan jenis HE yang paling sering digunakan. Alat Penukar Kalor (APK) umumnya dibangun dari tabung melingkar dengan fleksibilitas tinggi kemampuan dalam desain karena geometri inti dapat diubah tanpa kesulitan dengan memanfaatkan diameter, panjang, dan pengaturan tabung yang berbeda [2]. HE jenis *Shell and tube* tersusun dari beberapa tube yang terpasang di dalam shell yang berbentuk silindris [3]. Di dalamnya terdapat dua fluida yang mengalir dimana fluida pertama mengalir didalam tube sedangkan fluida kedua mengalir diluar tube [4]. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk memperperbesar laju perpindahan panas adalah dengan membuat aliran dalam shell turbulen, memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada bagian shell perlu dipasang penghalang (*baffle*) [5].



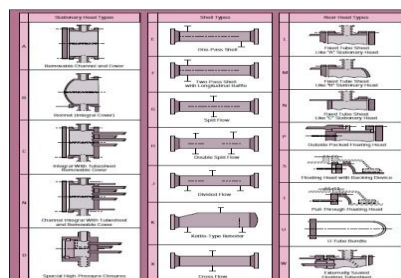
Gambar 1. HE tipe *Shell and tube*

Berdasarkan standar TEMA “*Tubular Exchanger Manufacturers Association*” terdapat 3 (tiga) macam kelas alat penukar kalor (APK) :

- 1) Kelas R, adalah peralatan yang bekerja dengan kondisi berat (digunakan pada industri minyak)
- 2) Kelas C, adalah peralatan yang diperuntukkan untuk penggunaan secara umum. Didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil (digunakan untuk proses – proses umum industri)
- 3) Kelas B, adalah peralatan yang diperuntukkan untuk pelayanan proses kimia Standar

TEMA mengklasifikasikan alat penukar kalor (APK) menurut tipe “*stationary head*”, “*shell*” dan “*rear head*” kedalam tiga kode huruf, yaitu :

- a. Huruf pertama : A, B, C, N dan D artinya menunjukkan tipe ujung muka.
- b. Huruf kedua : E, F, G, H, J, K dan X artinya menunjukkan tipe *shell*.
- c. Huruf ketiga : L, M, D, U, P, S, T dan W artinya menunjukkan tipe ujung belakang



Gambar 2. Standar TEMA berdasarkan konstruksi

Diantara semua teknik pembersihan basah, *scrubber* basah adalah perangkat penting yang menggunakan penggosok air untuk memadatkan tar dan secara bersamaan menghilangkan partikulat dari syngas [6]. Namun, masalah penting yang terkait dengan system *scrubbing* basah melibatkan pengolahan air limbah yang mahal dan penurunan nilai kalor syngas dan efisiensi energy bersih proses. Untuk mengatasi kelemahan teknologi pembersihan basah konvensional, Thapa et al [7]. mengembangkan system pembersihan yang terdiri dari penukar panas tabung tunggal untuk pendinginan syngas diikuti oleh filter berbasis biomassa kering dengan serutan kayu sebagai media filter. Penggunaan penukar panas tidak langsung (tidak ada kontak antara syngas panas dan air dingin) menghilangkan kebutuhan untuk pengolahan air limbah, sementara media filter dapat digunakan kembali sebagai bahan baku gasifikasi.

Sudrajat dkk [8] melakukan Analisis kinerja *Shell and tube Heat exchanger* pada sistem COG Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan terjadinya penurunan laju perpindahan panas sebesar 19.45% atau setara dengan energi yang dihasilkan dari penggunaan solar sejumlah 0,036 liter selama satu jam. Nilai Fouling factor nya mengalami kenaikan hingga sebesar 0,561 m².K/kW dan efektivitasnya menurun sebesar 3,7%. I M Arsana [9] Melakukan rancang bangun baffle bersudut pada STHE untuk meningkatkan Performa *Heat exchanger* dengan variasi sudut *baffle* 30° dan metode NTU Menghasilkan nilai Efektivitas sebesar 25%. B Setyoko [10] Melakukan Penelitian Tentang Evaluasi Kinerja *Heat exchanger* dengan Metode *Fouling Faktor*, dari perhitungan dan analisis didapatkan tahanan panas dalam keadaan bersih (UC) 5,93 BTU/jam. ft².°F, Faktor pengotoran sebesar 0,004 BTU/jam. ft².°F, Pressure drop pada shell 2,84 . 10⁻⁴ Psi dan Pressure drop pada tube 2,84 . 10⁻³ Psi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana performa dari HE jenis shell and tube dengan Metode *Fouling Faktor*. Sehingga penelitian ini nantinya dapat dijadikan rujukan untuk penelitian selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Proses pengumpulan data-data terkait dengan spesifikasi pada alat dan data lain HE dilakukan dengan wawancara secara langsung karyawan yang bersangkutan. Untuk mendapatkan data sebagai penunjang diperlukan adanya langkah-langkah kerja diantaranya mengetahui cara pengoperasian alat penukar kalor tipe *shell and tube*, mencari dan mengumpulkan referensi - referensi mengenai perpindahan panas dari berbagai sumber, menghitung Nilai Uc dan Ud Untuk menentukan *fouling factor*, dan menganalisa data-data tersebut untuk mendapatkan efektifitas alat penukar kalor tersebut.

Berikut ini adalah perhitungan yang dilakukan untuk menganalisis kinerja HE tipe *shell and tube* diantaranya adalah:

1. Koefisien perpindahan panas global dan *fouling factor*

Koefisien perpindahan panas global pada sisi *shell*

$$\frac{h_o}{\phi_o} = JH_s \times \frac{k_s}{D_s} \times (P_{rs})^{1/3} \dots \dots \dots (1)$$

Koefisien perpindahan panas global pada sisi *tube*

$$\frac{h_o}{\phi_o} = JH_t \times \frac{k_s}{ID_t} \times (P_{rt})^{1/3} \dots \dots \dots (2)$$

Fouling factor

Fouling factor merupakan besarnya nilai pengotoran yang terjadi pada HE yang dapat mengakibatkan bertambah besarnya tahanan termal:

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} \dots \dots \dots (3)$$

2. Rasio viskositas pada *shell and tube*

$$\phi = \left(\frac{\mu}{\mu_{ref}}\right)^{0.14} \dots\dots\dots(4)$$

3. Clean Overall Coeficient Heat Transfer dan overral Heat transfer coefficient design

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \dots\dots\dots(5)$$

$$U_d = \frac{q_t}{A \times \Delta T_{LMTD}} \dots\dots\dots(6)$$

4. Laju perpindahan panas aktual

Laju perpindahan panas aktual adalah panas yang dibuang atau dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin, persamaan adalah sebagai berikut:

$$q_{act} = c_c \times (T_{c2} - T_{c1}) \dots\dots\dots(7)$$

5. Laju perpindahan panas maksimal

Laju perpindahan panas maksimal adalah nilai perpindahan panas terbesar yang mungkin terjadi pada HE, persamaan adalah sebagai berikut:

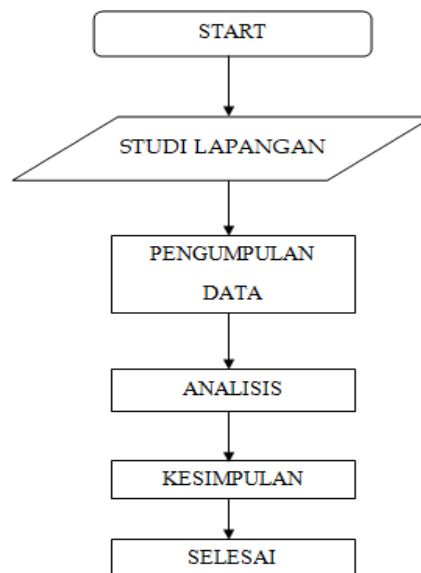
$$q_{max} = c_{min} \times (T_{h1} - T_{c1}) \dots\dots\dots(8)$$

6. Efektivitas

Efektivitas adalah perbandingan laju perpindahan panas aktual dengan laju perpindahan panas amaksimal yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta_{eff} = \frac{q_{act}}{q_{max}} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Berikut adalah diagam flow chart dari penelitian ini:



Gambar 3. Diagram *Flow Chart* Peneliti

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan yang pertama adalah mengumpulkan data-data yang telah diketahui atau data instalasi yang bersumber dari katalog produk dan data operasi HMI. Data instalasi tersebut adalah spesifikasi HE *shell and tube* dan karakteristik fluida yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Heat exchanger spesification sheet

Tabel 1. Spesifikasi Data *Shell and Tube*

Data shell side		Data tube side	
Fluid	Solar	Fluid	Crude oil
State	Liquid	State	Liquid
Temperature from	536 °F	Temperature from	95
To	248 °F	To	208.4
Average	392 °F	Average	151.7
Flowrate	3736557.426 lb/ hr	Flowrate	3773923 lb/hr
Specific heat capacity	0.63 BTU/lb°F	Specific heat capacity	0.49 BTU/lb °F
Thermal conductivity	0.071 BTU/hr	Thermal conductivity	0.076 BTU/hr
Viscosity	1.62 lb/ft hr	Viscosity	8.46 lb/ft hr54.59
Prandlt number	14.38	Prandlt number	

Selanjutnya untuk menghitung performa dari HE tipe shell and tube ini maka dilakukan beberapa perhitungan:

1. Koefisien perpindahan panas pada *shell and tube*

$$\frac{h_o}{\phi_o} = JH_s \times \frac{k_s}{De} \times (Pr_s)^{1/3} = 124 \times \frac{0.071 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} ft}{0.083 ft} \times (14.38)^{1/3}$$

$$= 257.83 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} \text{ (shell)}$$

$$\frac{h_o}{\phi_o} = JH_t \times \frac{k_s}{IDt} \times (Pr_t)^{1/3} = 100 \times \frac{0.076 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} ft}{0.0696 ft} \times (54.59)^{1/3}$$

$$= 413.11 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} \text{ (tube)}$$

2. Rasio viskositas pada *shell and tube*

Dengan menggunakan grafik *Viscosity of Mid-Continent Oils* untuk temperatur T_w 317.32 °F, °API = 33.61, maka didapatkan nilai viskositas solar pada dinding tube yaitu sebesar 0.8 cp. 0.8 cp = 0.85 x 2.4192 lb/ft.jam

$$\mu_w = 1.935 \text{ lb/ft.jam}$$

Sehingga perhitungan diperoleh:

$$\phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = \left(\frac{1.6209 \frac{lb}{ft \cdot jam}}{1.935 \frac{lb}{ft \cdot jam}} \right)^{0.14} = 0.98 \text{ (shell)}$$

Dengan menggunakan grafik *Viscosity of Mid-Continent Oils* untuk temperatur T_w 317.59 °F, °API = 34.33 maka didapatkan nilai viskositas solar pada dinding tube yaitu sebesar 0.85 cp. 0.85 cp = 0.85 x 2.4192 lb/ft.jam

$$\mu_w = 2.056 \text{ lb/ft.jam}$$

$$\text{Sehingga perhitungan diperoleh: } \phi_s = \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} = \left(\frac{8.4672 \frac{lb}{ft \cdot jam}}{2.056 \frac{lb}{ft \cdot jam}} \right)^{0.14} = 1.219 \text{ (tube)}$$

3. Lapisan film bagian dalam dan luar tube

$$\frac{h_o}{\phi_o} = 257.83 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}$$

Maka, $h_o = \phi_s \times 257.83 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}$

$$= 0.98 \times 257.83 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} = 252.67 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} \text{ (luar tube)}$$

$$\frac{h_o}{\phi_o} = 413.11 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}$$

Maka, $h_o = \phi_s \times 413.11 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}$

$$= 1.219 \times 413.11 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} = 503.58 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)} \text{ (dalam tube)}$$

4. *Cleant overall coefficient heat transfer*

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{(419.98 \times 252.48) \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}}{(419.98 + 252.48) \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}} = 157.42 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}$$

5. *Overall heat transfer coefficient design*

$$U_d = \frac{q_t}{A \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{2097018.054 BTU}{984.37 ft^2 \times 229.48 ^{\circ}F} = 9.28 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}$$

6. *Fouling factor*

$$R_d = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d} = \left(\frac{157.68 - 9.285 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}}{157.68 \times 9.285 \frac{BTU}{jam (ft^2) (^{\circ}F)}} \right) = 0.101$$

7. Laju perpindahan panas aktual

$$q_{act} = c_c \times (T_{c2} - T_{c1}) = 18492.22 \frac{BTU}{iam (^{\circ}F)} \times (208.4 - 95) ^{\circ}F = 2097017.74 \frac{BTU}{iam}$$

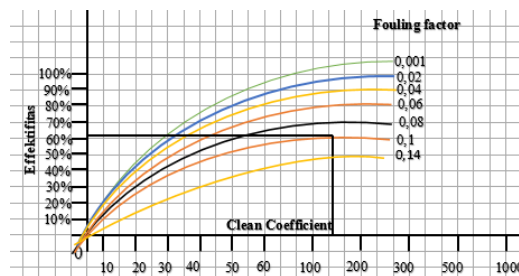
8. Laju perpindahan panas maksimal

$$q_{max} = C_{min} \times (Th_1 - Tc_1) = 7490.53 \frac{BTU}{iam (^{\circ}F)} \times (536 - 95) ^{\circ}F = 3303323.73 \frac{BTU}{iam}$$

9. Efektivitas

$$\eta_{eff} = \frac{q_{act}}{q_{max}} \times 100\% = \left(\frac{2097017.748}{3303323.73} \right) \frac{BTU}{jam} \times 100\% = 63.48\%$$

Rasio pengotoran dengan permukaan yang bersih terhadap efektivitas ditunjukkan pada grafik berikut:



Gambar 4. Rasio Pengotoran dengan Permukaan yang bersih terhadap Efektifitas

Berdasarkan grafik diatas dapat dianalisis bahwa *clean coefficient* berbanding terbalik dengan *fouling factor*. Semakin rendah *fouling factor* maka *clean coefficient* akan semakin tinggi, sedangkan efektivitas performa dari *shell and tube* akan semakin meningkat. Dari grafik tersebut ditunjukkan bahwa *fouling faktor* terbesar yaitu 0.14 memiliki efektivitas sekitar 49%, sedangkan terendah yaitu 0.10 memiliki efektivitas sebesar 63,48%. Hal serupa juga terjadi pada penelitian Sudrajat [8] yang mengalami penurunan laju perpindahan panasnya hingga 19,45%, Kenaikan Nilai *fouling* sebesar 0,561 m².K/kW, dan penurunan efektivitas sebesar 3,7%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai fouling faktor semakin menurun efektivitas alat penukar kalor tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dan kalkulasi HE jenis *shell and tube* yang telah dilakukan pada penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa :

1. HE jenis *Shell and tube* yang dianalisis ini memiliki nilai colling performa 2097017.74 BTU/jam, sedangkan nilai *fouling factor* didapatkan 0.101 lebih besar dari *fouling factor* ketentuan Yaitu 0.1, Sehingga dapat disimpulkan bahwa *Shell and Tube heat exchanger* tersebut dapat digunakan.
2. Nilai Effisiensi Efektif dari HE jenis *shell and tube* ini bergantung pada perbandingan

nilai q_{act} dan q_{max} yang dihasilkan, berdasarkan spesifikasi dan perhitungan yang telah dilakukan dalam penelitian ini didapatkan sebesar nilai efisiensi efektif sebesar 63,48 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arsana, Made dkk.2016. Modelling of the single stage an tube heat exchanger. International journal of applied engineering research, Vol.11, no 8, pp 5591-5599.
- [2] Asadi, M. & Khoskhoo, R.H .2013. *Investigasi Faktor Pengotoran Dalam Penukar Panas Kompak*. Ruang Ilmiah Jurnal Penelitian Ilmiah. 218-229.
- [3] Brogan, RJ. 2011. *Shell and tube heat exchanger*.
<http://www.thermopedia.com/content/1121/>. Diakses 1 April 2022.
- [4] Holman, JP. 2010. *Heat Transfer (10th ed)*. New York: McGraw-Hill.
- [5] Sidik, Liu. 2002. *Heat Exchanger Selections Raiting and Thermal Design (1th ed)*. Miami: University of Miami.
- [6] Anis, S. And Zainal, Z. A.2011. *Tar reduction in biomass producer gas via mechanical, catalytic and thermal methods: A review*”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15, pp. 2355-2377.
- [7] Thapa, Bhoi, Kumar,dkk.2017. *Pengaruh Pendinginan Syngas dan Media Filter Bio massa pada Penghilangan Tar*.energi 2017,10,349
- [8] R Sudrajat.,(2017). *Analisis Kinerja Heat Exchanger Shell & Tube Pada Sistem Cog Booster Di Integrated Steel Mill Krakatau*. Jurnal Teknik Mesin (JTM): Vol. 06, No. 3, Juni 2017
- [9] Setyoko. (2008). *Evaluasi Kinerja Heat Exchanger Dengan Metode Fouling Faktor*. Teknik – Vol. 29 no. 2Tahun 2008, ISSN 0852-1697
- [10] Arsana, Nada. (2021). *Rancang Bangun Baffle Bersudut Pada Heat Exchanger Shell And Tube*. JTM. Volume 09 Nomor 01 Tahun 2021, 159 - 164