

ANALISIS KEEFEKTIFAN ALAT PENUKAR KALOR TABUNG SEPUSAT ALIRAN BERLAWANAN DENGAN VARIASI PADA FLUIDA PANAS (AIR) DAN FLUIDA DINGIN (METANOL)

David Oktavianus¹, Hady Gunawan², Hendrico³, Farel H Napitupulu⁴

^{1,2}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155
E-mail : david.oktavianus1993@yahoo.com

Abstrak

Pemanfaatan alat penukar kalor sekarang ini semakin luas dan dapat dilihat sebagai cara untuk meningkatkan efektifitas dan kualitas produk dengan cara memanfaatkan panas. Alat penukar kalor tabung sepusat merupakan salah satu jenis alat penukar kalor (APK) yang dimanfaatkan untuk memanaskan metanol sebagai salah satu bahan baku dalam industri pembuatan formaldehid yang nantinya akan diolah lagi menjadi berbagai macam produk seperti plastik, cat, peledak dan tekstil. Pemanfaatan alat penukar kalor tabung sepusat ini mendorong untuk dilakukannya berbagai perancangan dan penelitian alat penukar kalor yang lebih efektif. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas tertinggi dan faktor yang mempengaruhi efektifitas alat penukar kalor tabung sepusat. Penelitian yang telah dilakukan dari hasil perancangan alat penukar kalor tabung sepusat dengan menggunakan variasi kapasitas fluida panas (air) yaitu 180 L/jam, 240 L/jam, 300 L/ jam dan 360 L/jam pada temperatur masuk fluida panas 40°C, 45°C, 50°C dan 55°C dengan kapasitas aliran fluida dingin (metanol) yaitu 240 L/jam. Efektifitas tertinggi alat penukar kalor tabung sepusat dari hasil perancangan yang dilakukan diperoleh 20,787 % .

Kata kunci : Alat Penukar Kalor Tabung Sepusat, Efektifitas, Metanol, Aliran Berlawanan.

PENDAHULUAN

Dalam dunia industri alat penukar kalor ini sangat banyak digunakan. Berbagai jenis alat penukar kalor digunakan untuk mencapai tujuan yang diinginkan, seperti untuk memanaskan produk ataupun untuk mendinginkan produk. Misalkan pada industri zat kimia yang menginginkan suhu tertentu untuk mencegah produk mereka membeku pada saat dialirkan, pada industri penghasil listrik seperti PT. PLN dalam mengondensasikan kembali uap panas menjadi air agar dapat dipakai lagi untuk proses berikutnya ataupun untuk memanaskan produk kimia.

Dalam industri pembuatan formalin salah satu bahan bakunya adalah metanol sehingga pada penelitian ini digunakan metanol sebagai salah satu fluida dalam percobaan dengan melewati air panas untuk memanaskan metanol tersebut. Proses untuk memanaskan metanol tersebut menggunakan alat penukar kalor tabung sepusat yang dirancang bangun oleh saudara “Hendrico” kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui keefektifan dari alat tersebut.

Penelitian dilakukan dengan mengvariasikan kapasitas aliran fluida panas (air) 180 L/jam, 240 L/jam, 300 L/jam dan 360 L/jam dengan variasi kapasitas aliran fluida dingin (metanol) yaitu 240 L/jam,

dengan variasi temperatur fluida panas (air) yaitu 40°C, 45°C, 50°C dan 55°C. Pengujian ini dilakukan pada hasil rancang bangun yang berada di Laboratorium Instalasi Uap di Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara.

LITERATUR

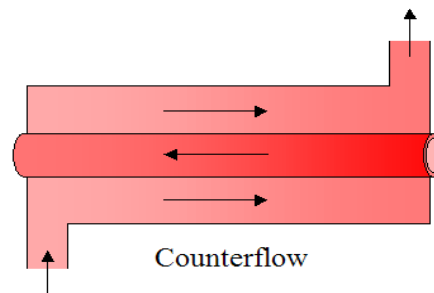
Alat Penukar Kalor Tabung Sepusat

Alat penukar kalor adalah alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas diantara dua fluida yang memiliki temperatur yang berbeda tanpa mencampurkan kedua fluida tersebut. Alat penukar kalor biasanya digunakan secara praktis didalam aplikasi yang luas, seperti dalam kasus pemanasan dan sistem pengkondisian udara, proses-proses kimia dan proses pembangkitan tenaga. Alat penukar kalor berbeda dengan ruangan pencampuran yakni alat penukar kalor tidak memperbolehkan kedua fluida bercampur. Sebagai contoh, pada radiator mobil, panas dipindahkan dari air panas yang mengalir melalui pipa yang terdapat pada radiator yang ditambahkan plat pada jarak yang kecil dengan melewati udara diantaranya.

Perpindahan panas pada alat penukar kalor biasanya terdiri dari konveksi di setiap fluida dan konduksi pada dinding yang memisahkan kedua fluida. Pada saat menganalisa alat penukar kalor, sangat diperlukan untuk menggunakan koefisien perpindahan panas menyeluruh U yang memungkinkan untuk menghitung seluruh efek dari perpindahan panas. Laju perpindahan panas diantara kedua fluida terletak pada alat penukar kalor yang bergantung pada perbedaan temperatur pada suatu titik, yang bervariasi sepanjang alat penukar kalor.

Double pipe heat exchanger atau *concentric tube heat exchanger* yang adalah alat penukar panas dimana fluida panas dan dingin dipisahkan oleh susunan tabung

concentric (double pipe), fluida panas dan dingin tersebut mengalir dalam arah yang sama maupun berlawanan. Pada saat dimana fluida panas dan dingin mengalir dalam arah yang sama, maka alat penukar kalor tersebut disebut *parallel flow heat exchanger*, sedangkan jika fluida panas dan dingin mengalir dalam arah yang berlawanan alat penukar kalor tersebut disebut dengan *counter flow heat exchanger*. [1]



Gambar 2.1 Aliran *double pipe heat exchanger*

Sumber – sumber informasi yang tersedia dan berbagai referensi yang relevan tentang alat penukar kalor tabung sepusat, tidak sedikit para peneliti yang membuat maupun menganalisis alat penukar kalor tabung sepusat ini. Berdasarkan sumber literatur yang ada berikut beberapa kontribusi peneliti dalam menganalisis APK tersebut :

Paisarn Naphon menganalisis hukum kedua termodinamika yang terjadi pada perpindahan panas alat penukar kalor tabung sepusat horizontal dan memperoleh hasil yang sesuai teori dengan eksperimental. [6]

Folaranmi Joshua mendesain dan membangun sebuah alat penukar kalor tabung sepusat dengan menggunakan fluida panas dan fluida dingin yaitu air. Dalam proses mendesain dilakukan dengan metode LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) dan memperoleh efisiensi sebesar 73,4 % pada kondisi air panas dan air dingin masuk yaitu 83°C dan 27°C dan menghasilkan air panas

dan air dingin keluar yaitu 73°C dan 37°C . [4]

Vatsal S Patel melakukan pengujian alat penukar kalor tabung sepusat dengan aliran berlawanan menggunakan fluida panas air sedangkan untuk fluida dingin menggunakan CuO. Hasil penelitian yang diperoleh bahwa koefisien perpindahan panas semakin meningkat dengan meningkatkan lahu aliran massa air panas dan fluida nano. [7]

Eko Heriyanto melakukan prarancangan untuk pembuatan formaldehid dengan menggunakan metanol sebagai salah satu fluida yang akan jadi bahan baku pembuatan formaldehid dengan menggunakan alat penukar kalor tabung sepusat. [3]

METODE PENELITIAN

Nomenklatur	
T	Temperatur (K)
\dot{m}	Laju alira massa (kg/s)
L	Panjang (m)
ρ	Massa jenis (kg/m^3)
μ	Viskositas dinamik (Pa.s)
k	Konduktivitas termal ($\text{W}/\text{m.K}$)
c_p	Kalor k\jenis ($\text{J}/\text{kg.K}$)
Pr	Bilangan Prandlt
d	Diameter (m)
Re	Bilangan Reynold
U	Koefisien perpindahan panas menyeluruh ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
A	Luas perpindahan panas (m^2)
Q	Laju perpindahan panas (W)
C	Kapasitas panas (W/K)
f	Koefisien gesek
h	koefisien konveksi ($\text{W}/\text{m}^2.\text{K}$)
$R_{,f}$	Faktor pengotoran ($\text{m}^2.\text{K}/\text{W}$)
R	Tahanan termal
ϵ	Efektifitas
Subscript	
h	hot (panas)
c	cold (dingin)
i	inlet (dalam)
o	outlet (luar)
Singkatan	
NTU	Number of Transfer Unit
LMTD	Log Mean Temperature Difference

3.1 Prosedur Pengujian

Pengujian dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Memasukkan air dan metanol ke dalam tangki persediaan
2. Atur katup agar alat penukar kalor sesuai dengan aliran berlawanan
3. Jalankan pompa sirkulasi air panas dan sirkulasi metanol fluida dingin.
4. Periksa alat pemanas listrik dengan saklar pada on.
5. Atur kedua katup sesuai dengan kapasitas aliran yaitu 180 L/jam pada fluida panas dan 240 L/jam untuk fluida dingin
6. Atur thermostat sebesar 40°C untuk menentukan suhu fluida panas.
7. Catat data suhu keluaran yang dapat dilihat pada instrument alat ukur suhu.
8. Ulangi kembali untuk laju aliran 240 L/jam, 300 L/jam dan 360 L/jam untuk fluida panas.

Lakukan pengujian untuk suhu masukan fluida panas 45°C , 50°C , dan 55°C

3.2 Perhitungan Efektifitas Secara Teori Dengan Metode NTU

Metode NTU dapat digunakan untuk mencari nilai efektifitas bila dua temperatur keluar fluida tidak diketahui pada alat penukar kalor tabung sepusat dengan langkah – langkah berikut :

1. Menghitung besar koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)
2. Menghitung kapasitas fluida panas C_h dan kapasitas fluida dingin C_c dan perbandingan C_{min}/C_{max}
3. Menghitung besar NTU
4. Menghitung keefektifan (ϵ) dengan menggunakan rumus yang berlaku [2]

Dengan menggunakan persamaan :

Aliran didalam Pipa bagian dalam (fluida panas)

- 1) Kecepatan aliran fluida

$$Q_h = A \cdot V_h \quad (1)$$

- 2) Laju aliran massa

$$\dot{m}_h = \rho_h Q_h \quad (2)$$

- 3) Bilangan Reynold

$$Re_{,h} = \frac{\rho_h V_h d_i}{\mu_h} \quad (3)$$

- 4) Bilangan Nusselt

$$Nu_{,h} = 3,66 + \frac{0,065 (D/L) Re Pr}{1 + 0,04 [(D/L) Re Pr]^{2/3}} \quad (4)$$

untuk $Re_{,h} < 2300$

$$Nu_{,h} = \frac{(f/8) (Re - 1000) Pr}{1 + 12,7 (f/8)^{0,5} (Pr^{2/3} - 1)} \quad (5)$$

untuk $Re_{,h} > 2300$

dimana, $f = (0,790 \ln Re - 1,64)^{-2}$

- 5) Koefisien konveksi pada fluida panas (tabung dalam)

$$h_i = \frac{k_h Nu_h}{d_i} \quad (6)$$

Aliran didalam Anulus

- 1) Kecepatan aliran fluida

$$Q_c = A \cdot V_c \quad (7)$$

- 2) Luas untuk annulus

$$A = \pi/4 (D_o^2 - D_i^2) \quad (8)$$

- 3) Laju aliran massa

$$\dot{m}_c = \rho_c Q_c \quad (9)$$

- 4) Bilangan Reynold

$$Re_{,c} = \frac{\rho_c V_c d_h}{\mu_c} \quad (10)$$

Efektifitas

- 1) Tahanan termal

$$R = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{\ln (D_o/D_i)}{2 \pi k L} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (11)$$

- 2) Koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$U = \frac{1}{R A_s} \quad (12)$$

- 3) Kapasitas panas maksimum, minimum dan rasio perbandingan

$$C_h = \dot{m}_h c_{p,h} \quad (13)$$

$$C_c = \dot{m}_c c_{p,c} \quad (14)$$

$$\frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{C_c}{C_h} = C \quad (15)$$

- 4) NTU dan Efektifitas aliran berlawanan

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}} \quad (16)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \exp(-NTU(1-C))}{1 - C \exp(-NTU(1-C))} \quad (17)$$

3.3 Perhitungan Efektifitas Secara Eksperimen

Pada perhitungan efektifitas eksperimen dihitung nilai C_h dan C_c serta dari pegujian dan pengukuran yang dilakukan diperoleh keempat temperatur sehingga dapat digunakan persamaan berikut :

Bila $C_h = C_{min}$ maka keefektifan ε

$$\varepsilon = \frac{(T_{h,i} - T_{h,o})}{(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (18)$$

Bila $C_c = C_{min}$ maka keefektifan ε

$$\varepsilon = \frac{(T_{c,o} - T_{c,i})}{(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (19)$$

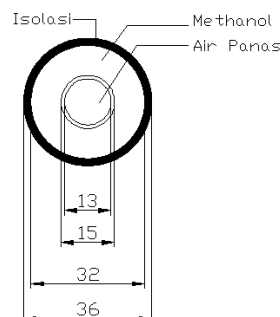
HASIL DAN PEMBAHASAN

Efektifitas

Alat penukar kalor yang dirancang bangun memiliki dimensi sebagai berikut :



Gambar 4.1 Dimensi Alat Penukar Kalor



Berdasarkan hasil perhitungan secara teori dan pengujian pada alat penukar kalor tabung

sesuai dengan kapasitas aliran fluida panas (air) diperoleh efektifitas sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Efektifitas Pada Kapasitas Aliran Air Panas 180 L/jam dan Metanol 240 L/jam

Thi (°C)	Tci (°C)	Efektifitas (%)	
		Teori	Praktek
40	34	6.69	5.3
45	34	6.78	4.98
50	36	6.87	9.15
55	32	6.7	17.86

Tabel 2. Hasil Efektifitas Pada Kapasitas Aliran Air Panas 240 L/jam dan Kapasitas Aliran Metanol 240 L/jam

Thi (°C)	Tci (°C)	Efektifitas (%)	
		Teori	Praktek
40	34	6.87	6.20
45	34	6.91	6.236
50	36	7.055	9.85
55	32	6.86	19.85

Tabel 3. Hasil Efektifitas Pada Kapasitas Aliran Air Panas 300 L/jam dan Kapasitas Aliran Metanol 240 L/jam

Thi (°C)	Tci (°C)	Efektifitas (%)	
		Teori	Praktek
40	34	6.99	6.5
45	34	7.02	11.9
50	36	7.16	12.53
55	32	6.96	20

Tabel 4. Hasil Efektifitas Pada Kapasitas Aliran Air Panas 360 L/jam dan Kapasitas Aliran Metanol 240 L/jam

Thi (°C)	Tci (°C)	Efektifitas (%)	
		Teori	Praktek
40	34	7.07	11.25
45	34	7.09	4.58
50	36	7.24	11.79
55	32	7.03	20.787

Dari keempat tabel di atas dapat dilihat keefektifan alat penukar kalor tabung sesuai dengan fluida panas yaitu air dan fluida dingin menggunakan metanol yang tertinggi adalah ketika kapasitas aliran air panas 360 L/jam dan kapasitas aliran metanol 240 L/jam yaitu 20,787 % pada suhu $T_{hi} = 55^{\circ}\text{C}$ dan $T_{ci} = 32^{\circ}\text{C}$. Secara teori diperoleh keefektifan alat penukar kalor tabung sesuai terbesar yaitu 7,24 % pada $T_{hi} = 50^{\circ}\text{C}$ dan $T_{ci} = 36^{\circ}\text{C}$.

Dari Tabel di atas dapat dilihat bahwa nilai efektifitas eksperimen lebih besar dari nilai efektifitas teori. Hal ini disebabkan oleh ketika pengujian kabel termokopel tidak dapat langsung menyentuh kedua fluida baik masuk maupun keluar Alat Penukar Kalor Tabung Sesuai karena proses pembuatan alat merupakan pekerjaan tangan (bukan pabrik) serta tidak langsung memasukkan alat ukur suhu seperti pada alat penukar kalor buatan pabrik yang sudah ada. Kemudian isolasi yang dilakukan kurang memadai atau masih memungkinkan terjadinya konveksi ke sekitar lingkungan karena bahan isolator yang dipilih tidak sebagus mungkin.

Selain hal tersebut yang membuat rendahnya efektifitas secara teori yang hanya 7,24 % disebabkan karena diameter annulus (pipa bagian luar) yang cukup besar sehingga mempengaruhi nilai efektifitas.

PENUTUP

Simpulan

1. Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh keefektifan maksimum sebesar 20,787 % pada kapasitas aliran fluida panas 360 L/jam pada temperatur air masuk 55°C dan temperatur metanol masuk 32°C dengan kapasitas aliran fluida dingin 240 L/jam. Untuk efektifitas secara teori diperoleh sebesar 7,24 % pada temperatur air masuk 50°C dan temperatur metanol masuk yaitu 36°C
2. Semakin kecil diameter annulus maka akan semakin tinggi nilai efektifitas suatu alat penukar kalor tabung sepusat.
3. Penggunaan flowmeter dengan kapasitas aliran yang lambat dapat meningkatkan efektifitas yang jauh lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Cengel, Yunus.A. 2003. *Heat Transfer: A Practical Approach*, 2nd ed. New York : McGraw-Hill
- Incropera F.P. *Fundamentals Of Heat and Mass Transfer*, 6th ed. New York : John Wiley & Sons.
- Heriyanto, Eko. 2011. *Prarancangan Pabrik Formaldehid dari Metanol dan Udara Proses Metal Oxide 15.000 ton/tahun*. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Joshua, Folaranmi. 2009. *Design and Construction of a Concentric Tube Heat Exchanger*. AU J. T. 13(2): 128-133
- Kuppan,T. 2000. *Heat Exchanger Design Handbook*. New York : Marcel Dekker.Inc
- Naphon, Paisarn. *Second Law Analysis On The Heat Transfer of The Horizontal Concentric Tube Heat Exchanger*. Thailand : Srinakharinwirot University

Patel, S Vatsal. 2013. *An Experimental Study of Counter Flow Concentric Tube Heat Exchanger using CuO/Water Nanofluid*. International Journal of Engineering Research & Technology. ISSN : 2278-0181

Sadik Kakac and Hongtan Liu (March 2002). *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design* (2nd Edition ed.). CRC Press. ISBN 0-8493-0902-6.