

ANALISIS PERHITUNGAN LAJU PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR KALOR TYPE PIPA GANDA DI LABORATORIUM UNIVERSITAS 17 AGUSTUS 1945 JAKARTA

Harini

Fakultas Teknik, Program Study Teknik mesin, Universitas 17 Agustus 1945
Jakarta
Jl. Sunter Permai Raya, Sunter Agung Podomoro Jakarta Utara 14356

ABSTRAK

Alat penukar kalor type pipa ganda merupakan salah satu jenis alat penukar kalor menggunakan aliran fluida panas dan dingin yang mana masing-masing mengalir secara berlawanan arah. Untuk air panasnya di bantu dengan menggunakan heater supaya dapat menghasilkan panas yang maksimal dan kedua aliran di bantu dengan media pompa sehingga airnya bisa mengalir secara beraturan. Untuk metode yang digunakan adalah metode literature dan pengambilan data secara langsung di laboratorium universitas 17 agustus 1945 jakarta. Dari hasil analisa untuk kapasitas alat penukar kalor type pipa ganda. (A) laju aliran energy panas (watt) : uji coba pertama, kedua, ketiga dan ke empat (8368), (10041), (11715), (13388). (B) koefisien perpindahan kalor menyeluruh (watt): uji coba pertama, kedua, ketiga, dan keempat(93,77), (93,33), (92,60), (92,15). (C) efektivitas(%): uji coba pertama, kedua, ketiga,dan keempat (10%), (12%), (14%), (16%). Dimana dari keempat pengujian tersebut yang paling efektifias adalah pengujian keempat karna panas yang di keluarkan meningkat dan menghasilkan konduktivitas termal yang besar.

Kata kunci: Alat penukar kalor pipa ganda, heater, laboratorium uta 45 jakarta, dan pompa

ABSTRACT

Heat exchanger type is one of the double pipe type heat exchanger using hot and cold fluid flow in which the respective flows in the opposite direction. For the hot springs in help using the heater in order to produce maximum heat and second flow of aid with the media pump so the water can flow. For the method used is the method of literature and data retrieval directly in university laboratories, 17August 1945 jakarta. From the results of the analysis for the capacity of a heat exchanger type a double pipe. (A) flow rate of heat energy (watt): test first, second, third and fourth (8368), (10041), (11715), (13388). (B) heat transfer coefficient thorough (watt): test first, second, third, and fourth (93,77), (93,33), (92,60), (92,15). (C) effectiveness (%): trials of the first, second, third, and fourth (10%), (12%) (14%) (16%). Where is the fourth of the test of the most efektifias is the fourth test because of the heat in the eject and result in increased thermal conductivity.

Keywords: double pipe heat exchanger, heater, laboratory uta 45 jakarta, and pumps

I. PENDAHULUAN

heat exchanger adalah alat untuk proses berpindahnya suatu energy (kalor), menggunakan media fluida baik gas, panas, maupun dingin, dari suatu daerah ke daerah lain karena adanya perbedaan temperatur dan suhu.

Di laboratorium universitas 17 agustus 1945 ada *heat exchanger* type pipa ganda yang bisa di jadikan untuk suatu penelitian. Yang mana alat tersebut sangat penting untuk menunjang proses belajar atau praktikum uji prestasi. Tetapi alat tersebut (*heat exchanger*) tidak bisa di oprasikan dikarenakan banyak komponen-komponen yang rusak sehingga di butuhkan perbaikan dan penggantian alat- alat yang tidak bisa di pakai lagi. setelah mesin tersebut di perbaiki dan bisa beroperasi semula, maka di lakukan analisa untuk mencari nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U), laju aliran massa (\dot{m}), laju aliran panas (Q), dan nilai efektivitas dari *heat exchanger* tersebut.

Cara kerja *heat exchanger* type pipa ganda tersebut adalah dengan menggunakan fluida panas untuk pipa yang besar, dan pipa yang dingin menggunakan pipa kecil di dorong menggunakan pompa secara berlawanan arah sehingga setelah bersinggungan akan menghasilkan perbedaan temperatur dan suhu.

II. TEORI DASAR

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) merupakan alat yang digunakan untuk proses berpindahnya suatu panas dari suatu daerah tertentu kedaerah lainnya, baik itu berupa padat, gas, maupun cair.

Ada beberapa cara untuk perpindahan energy (kalor) yaitu

- Perpindahan kalor konduksi.

Proses berpindahnya energy (kalor) mengalir dari suatu daerah bersuhu tinggi terhadap suatu daerah bersuhu rendah.

- Perpindahan kalor konveksi
Proses berpindahnya energy (kalor) dengan kerja secara gabungan dari aliran mencampur, penyimpanan energy, dan konduksi kalor.
- perpindahan kalor radiasi
Proses berpindahnya energy (kalor) dari suatu daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah terhadap ruang hampa sekalipun

Teori perhitungan alat penukar kalor

1. Laju perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar kalor

$$Q = U \times A \times LMTD \dots \dots \dots (1)$$

Dimana

Q= Laju perpindahan panas
 U= Koefisien perpindahan kalor menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^\circ C$ atau $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$)
 A= Luas penampang (APK) (m^2 atau ft^2)
 LMTD = Perbedaan temperature rata-rata logaritma ($^\circ C$ atau $^\circ F$)
 Berdasarkan kekekalan energy, maka laju perpindahan panas dapat ditentukan:

$$Q_{in} = Q_{out} \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_h = Q_c$$

$$m_h (h_{h,i} - h_{h,o}) = m_c (h_{c,i} - h_{c,o})$$

Dimana

Q = laju perpindahan panas
 M = Laju aliran massa (kg/s atau lbm/h)
 h = Enthalpi fluida panas pada sisi aliran masuk ($J/Kg \cdot ^\circ C$ atau $Btu/h \cdot lb \cdot ^\circ F$)

Sementara subscript:

H; c = Menjelaskan sebagai fluida panas dan fluida dingin
 I; o = Menjelaskan aliran masuk dan aliran keluar

Jika proses berpindahan panas dalam alat penukar kalor tidak mengalami perubahan bentuk (fasa) dan diasumsikan panas spesifik adalah konstanta, maka persamaan menjadi :

$$m_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = m_c c_{p,c} (T_{c,i} - T_{c,o})$$

Dimana, T adalah temperature dan c_p adalah panas spesipik fluida pada tekanan konstan.

2. Koefisien Perpidahan Kalor Menyeluruh (U^1)

jika alat penukar kalor berpenampang silinder ,maka persamaan

umum koefisien perpindahan kalor menyeluruh (U):

$$U = \frac{1}{\sum R_{Total}} \dots \dots \dots (3)$$

Atau

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{oi}} + \frac{\ln(D_o/D_i)}{2\pi kl} + \frac{1}{h_{oo} A_o}}$$

Persamaan di atas akan mengetahui nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada sisi luar dan sisi dalam permukaan silinder.

- Untuk sisi dalam silinder

$$U_i = \frac{1}{\frac{1}{h_{oi}} + \frac{A_i \ln(D_o/D_i)}{2\pi kl} + \frac{1}{h_{oo} A_o}}$$

- Untuk sisi luar silinder

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i h_{oi}} + \frac{A_o \ln(D_o/D_i)}{2\pi kl} + \frac{1}{h_{oo}}}$$

Dimana,

U = "Koefisien perpindahan kalor menyeluruh ($W/m^2 \cdot ^\circ C$ atau $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$)"

h_{∞} = "Koefisien perpindahan kalor konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$ atau $Btu/h \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$)"

A = "Luas penampang APK (m^2 atau ft^2)"

L = " Panjang tube APK (m atau ft)"

D = "Diameter tube APK (m atau ft)"

K = "Koefisien konduktivitas thermal ($W/m \cdot ^\circ C$ atau $Btu/h \cdot ft \cdot ^\circ F$)"

I dan O = "Menjelaskan sisi dalam dan sisi luar tube APK"

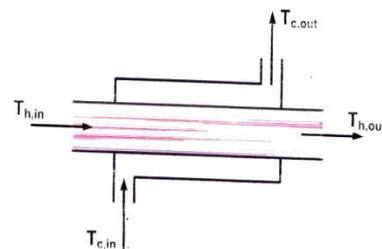
Apabila pada APK telah terjadi pengotoran,maka persamaan koefisien perpindahan kalor menyeluruh (u) menjadi:

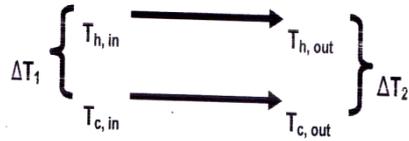
$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{oi} A_i} + \frac{R_{fi}}{A_i} + \frac{A_i \ln(D_o/D_i)}{2\pi kl} + \frac{R_{fo}}{A_o} + \frac{1}{h_{oo} A_o}}$$

3. Perbedaan Temperatur Rata-rata (LMTD)

Perbedaan temperature rata-rata (LMTD) adalah untuk menentukan nilai perbedaan temperature yang terjadi dalam alat penukar kalor untuk menentukan LMTD tergantung pada jenis aliran yang diaplikasikan APK.

- LMTD (Alat Penukar Kalor) Aliran Searah





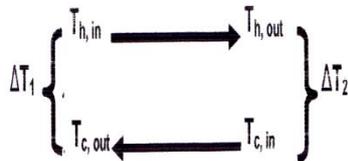
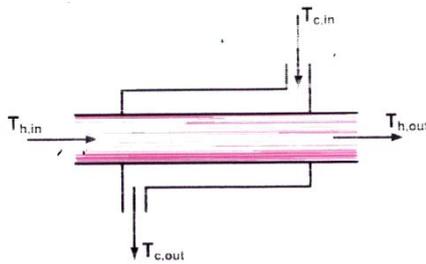
Gambar 1.1 apk dan analogi temperature searah

Maka persamaannya adalah:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]} \dots \dots \dots (4)$$

$$= \frac{(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})}{\ln \left[\frac{(T_{h,in} - T_{c,in})}{(T_{h,out} - T_{c,out})} \right]} \dots$$

MTD (alat penukar kalor)
Aliran Berlawanan arah



Gambar 1.2 apk dan analogi temperature aliran berlawanan arah

Maka persamaannya adalah:

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left[\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right]}$$

$$= \frac{(T_{h,in} - T_{c,out}) - (T_{h,out} - T_{c,in})}{\ln \left[\frac{(T_{h,in} - T_{c,out})}{(T_{h,out} - T_{c,in})} \right]} \dots \dots \dots (5)$$

Faktor Koreksi (LMTD)

Untuk alat penukar kalor aliran menyilang (shell and tube), yang memiliki jumlah aliran/lintasan lebih dari satu, baik itu dalam tube maupun susunan shell, setelah itu LMTD yang telah diperoleh harus dikoreksi dengan factor koreksi. kemudian laju perpindahan kalor dapat ditentukan:

$$Q = U \times A \times LMTD|_{cf} \dots \dots \dots (6)$$

dimana $LMTD|_{cf}$:

$$LMTD|_{cf} = LMTD \times F$$

Sementara untuk nilai factor kolerasi (f) dapat ditentukan secara analisis dan menggunakan gambar 1.1 dan 1.2 dengan parameter:

- P adalah keefektipan temperature pada sisi fluida dingin

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - T_2}$$

- R adalah rasio laju kapasitas energy

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_1 - t} = \frac{C_c}{C_h}$$

Dimana berdasarkan grafik,
 $T_1 ; T_2 =$

Temperatur masuk dan keluar pada sisi shell

$t_2 ; t_1$ Temperatur masuk dan keluar pada sisi tube

Dapat ditentukan secara analisis Nilai faktor kolerasi LMTD yang tergantung pada nilai R.

- Untuk $R \neq 1$

$$F = \frac{\sqrt{R^2 + \ln\left(\frac{1-S}{1-RS}\right)}}{(R-1) \ln\left[\frac{2-S(R+1-\sqrt{R^2+1})}{2-S(R+1+\sqrt{R^2+1})}\right]} \dots (7)$$

Dimana

$$S = \frac{a-1}{a-R}$$

Dan

$$a = \left[\frac{1-RP}{1-P} \right]^{1/N}$$

Sementara p diperoleh dari persamaan (7), dan N ialah jumlah lintasan pada sisi shell.

- Untuk $R = 1$

$$F = \frac{S\sqrt{2}}{(1-S) \ln\left[\frac{2-S(2-\sqrt{2})}{2-S(2+\sqrt{2})}\right]} \dots (8)$$

Untuk pada kasus ini harga S dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$S = \frac{P}{N-(N-1)P}$$

4. Metode Efektivitas – NTU (Metode ϵ -NTU)

Jika temperature alat penukar kalor baik itu fluida dingin maupun fluida panas tidak diketahui, untuk mengeliminasi penggunaan solusi metode iterasi maka metode ϵ - NTU dapat digunakan. Metode ini dikenalkan oleh *W.Kays dan A.M London*, yaitu:

- Nilai Efektivitas (ϵ)

$$\epsilon = \frac{Q_{Aktual}}{Q_{max}} \dots (9)$$

Dimana:

Q_{aktual} = Laju Perpindahan KalorAktual

$$= \dot{m}_c \times C_c \times (T_{C,out} - T_{C,in})$$

$$= \dot{m}_h \times C_h \times (T_{h,in} - T_{h,out})$$

Atau

$$= C_c \times (T_{c, out} - T_{c, in}) = C_h \times (T_{h,in} - T_{h, out})$$

Q_{max} = maksimal Laju perpindahan kalor

Yang mungkin

$$= C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})$$

Dimana C_{min} yaitu harga terkecil dari C_c atau C_h

$$C_{min} = C_h = \dot{m}_h \times C_h \Rightarrow \text{apabila } C_h < C_c$$

$$C_{min} = C_c = \dot{m}_c \times C_c \Rightarrow \text{apabila } C_c > C_h$$

Maka persamaan (9) juga bisa dituliskan menjadi:

$$\epsilon = \frac{C_c(T_{c,out} - T_{c,in})}{C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})} = \frac{C_h(T_{h,in} - T_{h,out})}{C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})}$$

fungsi rasio kapasitas kalor dan NTU, dapat juga dibuat suatu keefektifan apk

$$\epsilon = f(NTU, C) = f\left[NTU, \frac{C_{min}}{C_{max}}\right]$$

- Jumlah satuan perpindahan panas (NTU)

$$NTU = \frac{UA}{C_{min}} = \frac{UA}{(W \times C)_{min}} = \frac{UA}{C_{min}}$$

Tabel 1.1 Persamaan-persamaan Hubungan Efektivitas untuk APK

Jenis Alat Penukar Kalor
Persamaan

1. Pipa Ganda

Aliran Searah $\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+C)]}{1+C}$

Aliran lawan Arah $\epsilon = \frac{1 - \exp[-NTU(1+C)]}{1 - C \exp[-NTU(1-C)]}$

2. Shell and Tube:

Satu lintasan shell

$$\epsilon = 2 \left\{ 1 + C + \sqrt{1 + C^2} \frac{1 + \exp[-\sqrt{1 + C^2}]}{1 - \exp[-\sqrt{1 + C^2}]} \right\}^{-1} NTU = - \frac{\ln[C \ln(1-\epsilon)+1]}{C}$$

2,4,6... lintasan

3. Aliran Tunggal (Aliran Silang)

Kedua Fluida tak Campur

$$\epsilon = 1 - \exp \left\{ \frac{NTU^{0,22}}{C} [\exp(-C NTU^{0,78}) - 1] \right\}$$

C_{max} campur dan C_{min} tak campur
 $\epsilon = \frac{1}{C} (1 - \exp[1 - C[1 \exp(-NTU)]])$

C_{min} Campur dan C_{max} tak campur
 $\epsilon = 1 - \exp \left\{ -\frac{1}{C} [1 - \exp(-C NTU)] \right\}$

4. Semua Alat Penukar Kalor

Dengan $C = 0$ $\epsilon = 1 - \exp(-NTU)$

Tabel 2.5 Persamaan-persamaan NTU untuk APK

Jenis Alat Penukar Kalor
Persamaan

1. Pipa Ganda

Aliran Searah $NTU = - \frac{\ln[1-\epsilon(1+C)]}{1+C}$

Aliran Berlawanan Arah $NTU = \frac{1}{C-1} \ln \left(\frac{\epsilon-1}{\epsilon C-1} \right)$

2. Tube and shell

Satu lintasan shell

$$NTU = - \frac{1}{\sqrt{1+C^2}} \ln \left[\frac{2-1-C-\sqrt{1+C^2}}{\epsilon-1-C-\sqrt{1+C^2}} \right]$$

2,4,6... lintasan tube

3. Aliran Tunggal (Aliran Silang)

C_{max} campur dan C_{min} tak campur

$$NTU = - \ln \left[1 + \frac{\ln(1-\epsilon C)}{C} \right]$$

C_{min} campur dan C_{max} tak campur

4. alat penukar kalor keseluruhan

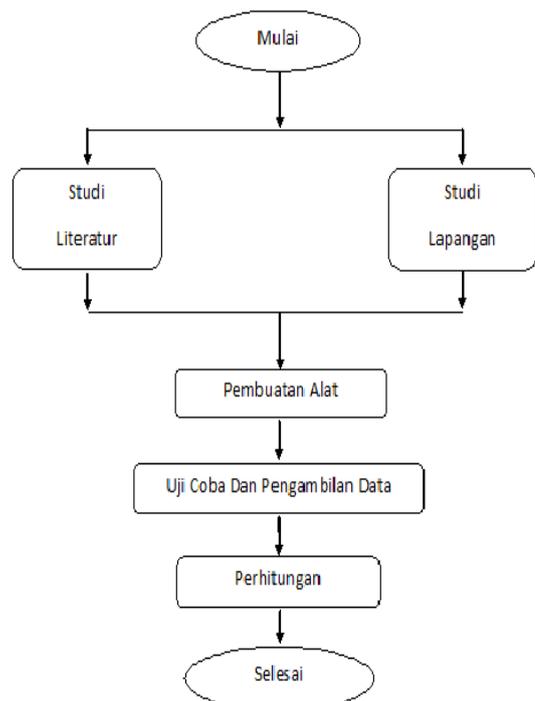
Dengan $C = 0$

$$NTU = - \ln(1 - \epsilon)$$

III. METODOLOGI

PENELITIAN

3.1. Diagram alir penelitian



3.2. Identifikasi masalah

Dari sudut pandang peneliti terdapat masalah yang harus di perbaiki, yaitu cara untuk meningkatkan panas yang akan timbul pada Apk type pipa ganda dan menurunkan konsumsi daya pada pompa

Pada alat yang akan di buat ini harus dapat menyerap panas yang akan timbul oleh heater sehingga kerja pompa tidak terlalu berat

Unjuk kerja maupun tingkat efisiensi penukar kalor. Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi laju perpindahan kalor, Salah satunya adalah pada pipa gandanya harus terdapat sirip-sirip yang dapat memudahkan perpindahan kalor yang akan terjadi di dalam air yang akan di hangatkan.

3.3. Hipotesis penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan analisis dapat diambil hipotesis yaitu :

- Penggunaan bahan yang akan di pakai buat Apk pipa ganda yang akan menampung air dan tempat penampung air harus tahan karat.
- Apk yang akan di pakai sebaiknya mempunyai sirip-sirip/tube sehingga panas yang akan timbul akan cepat merata.
- Didapatkan data-data yang dapat di jadikan acuan untuk melihat seberapa cepat air akan mengalami perubahan suhu yang akan terjadi dan suhu maksimal yang bisa di capai.

IV. HASIL PENELITIAN

4.1. Hasil Dan Analisis

Dari spesifikasi mesin alat penukar kalor type pipa ganda yang dipakai didapat data sebagai berikut:

ALAT PENUKAR KALOR TYPE PIPA GANDA ALIRAN BERLAWANAN ARAH					
JENIS PIPA		Uji coba ke1	Uji coba Ke 2	Uji coba Ke 3	Uji coba Ke 4
PIPA BESAR / ALIRAN AIR PANAS	$T_{h,in}$	44	48	55	60
	$T_{h,out}$	42	46	53	58
PIPA KECIL / ALIRAN AIR DINGIN	$T_{c,in}$	24	24	24	24
	$T_{c,out}$	30	32	34	36
LAJU ALIRAN MASSA	\dot{m}	1.0	1.2	1.4	1.6

Table 4.1. spesifikasi alat penukar kalor type pipa ganda

$$\Delta T_1 \left\{ \begin{matrix} T_{h,in} \rightarrow T_{h,out} \\ T_{out} \leftarrow T_{c,in} \end{matrix} \right\} \Delta T_2$$

GAMBAR4.1. ANALOGI APK ALIRAN BERLAWANAN ARAH

Untuk mencari ΔT_1 dan ΔT_2

uji coba pertama

$$14^\circ = \frac{44^\circ \rightarrow 42^\circ}{30^\circ \leftarrow 24^\circ} = 18^\circ$$

uji coba ke dua

$$16^\circ = \frac{48^\circ \rightarrow 46^\circ}{32^\circ \leftarrow 24^\circ} = 22^\circ$$

uji coba ke tiga

$$21^\circ = \frac{55^\circ \rightarrow 53^\circ}{34^\circ \leftarrow 24^\circ} = 29^\circ$$

uji coba ke empat

$$24^\circ = \frac{60^\circ \rightarrow 58^\circ}{36^\circ \leftarrow 24^\circ} = 34^\circ$$

4.2. Perbedaan temperatur rata-rata

(logaritma)

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$= \frac{14 - 18}{\ln\left(\frac{14}{18}\right)} = 15,19^\circ C \dots\dots\dots$$

(4.1)

Hasil perhitungan percobaan ke 2, ke 3, dan ke 4 hasilnya sama, dengan rumus yang sama: (18,84 °C), (24,79 °C), (28,65 °C).

4.3. Koefisien perpindah kalor

menyeluruh

- uji coba pertama

Diketahui:

$$C_p = 4,184 \text{ kJ/kg } ^\circ C$$

$$A_{in} = 0,29 \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times (0,29)^2$$

$$= 0,06660185 \text{ m}^2$$

$$A_{out} = 0,37 \text{ m}^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \times d^2$$

$$= \frac{3,14}{4} \times (0,37)^2 = 0,1074665 \text{ m}^2$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{in} A_{in}} + \frac{\ln\left(\frac{D_{out}}{D_{in}}\right)}{2 \pi k l} + \frac{1}{h_{out} A_{out}}} \dots\dots\dots$$

(4.3)

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2402 \text{ kJ/kg} \times 0,06660185 \text{ m}^2} + \frac{\ln\left(\frac{0,037}{0,029}\right)}{2 \times 3,14 \times 80,2 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \times 1 \text{ m}} + \frac{1}{2402 \text{ kJ/kg} \times 0,1074665 \text{ m}^2}}$$

$$U = 93,77 \text{ w/m.k}$$

Untuk uji coba kedua, ketiga, dan keempat dengan rumusan perhitungan yang sama di dapat hasil sbb:

- uji coba kedua = 93,32 w/m.k
- uji coba ketiga = 92,60 w/m.k
- uji coba keempat = 92,15 w/m.k

Dimana

U = Koefisien kalor menyeluruh
(W/m².°C atau Btu/h.ft².°F)

h = Koefisien perpindahan kalorkonveksi
(W/m².°C atau Btu/h.ft².°F)

A = Luas penampang alat penukar kalor
(m² atau ft²)

D = Diameter tube alat penukar kalor
(m atau ft)

K = konduktivitas thermal
(W/m.°C atau Btu/h. ft. °F)

L = panjang tube alat penukar kalor
(m atau ft)

Untuk (h) dan (k) di dapat dari lampiran tabel (A-1, A-2, A-3)

setelah memperoleh koefisien menyeluruh barulah mencari panas dari alat penukar kalor type pipa ganda aliran

berlawanan arah dengan persamaan berikut:

- uji coba pertama

$$(\dot{m} \times cp \times \Delta T)_{air\ panas} = (\dot{m} \times cp \times \Delta T)_{braine} \dots \dots \dots (4.4)$$

$$Q = 1.0 \text{ kg/s} \times 4,180 \text{ kj/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times (44 - 24) ^\circ\text{C} = 8368 \text{ kj/s} \Rightarrow 8,368 \text{ kw}$$

Dimna,

Q = laju perpindahan panas (W atau Btu/h)

\dot{m} = laju aliran massa (kg/s)

ΔT = perbedaan temperature ($^\circ\text{C}$)

Untuk uji coba kedua, ketiga, dan ke empat. Dengan rumus dan perhitungan yang sama didapatkan hasil:

- ✓ uji coba ke dua: 10041 kj/s \Rightarrow 10,041 kw
- ✓ uji coba ketiga: 11715 kj/s \Rightarrow 11,715 kw
- ✓ uji coba keempat: 13388 kj/s \Rightarrow 13,388 kw

4.4. Efektivitas

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{max}} \dots \dots \dots (4.5)$$

Untuk mencari efektivitas terlebih dahulu mencari nilai kapasitas panas pada tabel lampiran (A-1). temperaturnya 24°C

$$c_c = 0,9988 \times 4,184 \times 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K} = 4178,98 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$$

$$c_{min} = \dot{m} \times C_c = 1,0 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4178,98 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K} = 4178,98 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \cdot \text{K}$$

$$Q_{max} = c_{min} (T_h - T_c) = 4178,98 \text{ J/kg} (44 - 24) = 83579,98 \text{ watt}$$

Maka masukkan nilai yang telah di dapat dengan persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{Q_{aktual}}{Q_{max}}$$

$$\varepsilon = \frac{8368 \text{ w}}{83579,98 \text{ w}}$$

$$= 0,10 \text{ di konversikan ke } (\%). \times 100 = 10\%$$

Dimna,

Q_{max} = laju perpindahan kalor maksimal (W atau Btu/h)

C_c = kapasitas panas (j/kg.k)

C_{min} = harga terkecil dari kapasitas panas (j/kg.k)

Untuk uji coba kedua, ketiga, dan keempat dengan rumus dan perhitungan yang sama di dapatkan hasil sbb:

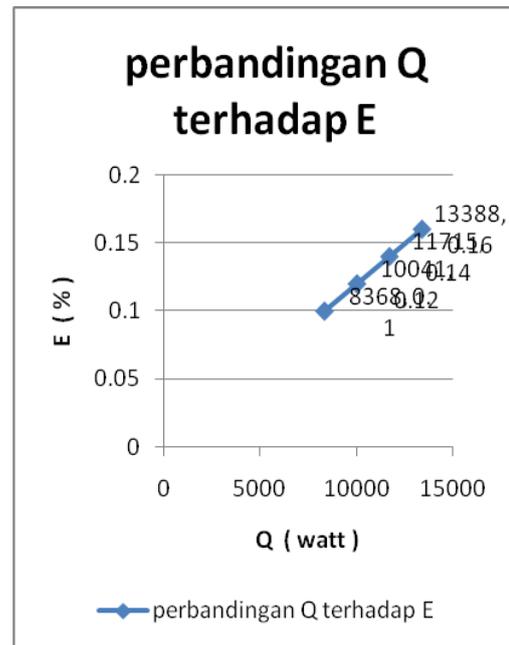
- ✓ Uji coba kedua = $0,12 \times 100 = 12\%$
- ✓ Uji coba ke tiga = $0,14 \times 100 = 14\%$
- ✓ Uji coba ke empat = $0,16 \times 100 = 16\%$

4.5. Hasil perhitungan

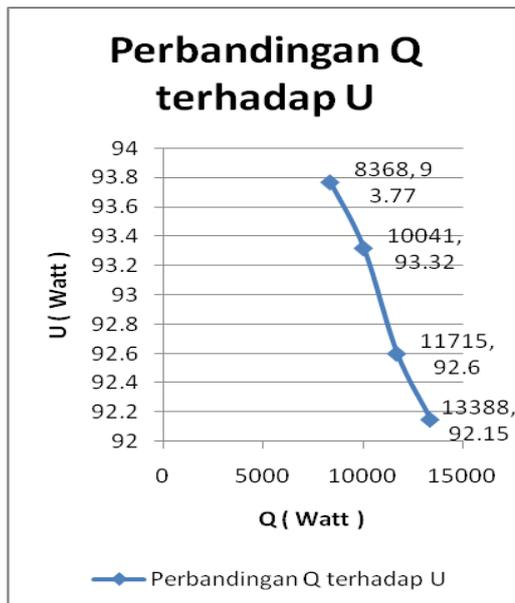
Setelah melakukan perhitungan maka di dapatkan hasil sbb:

Table 4.2. hasil perhitungan

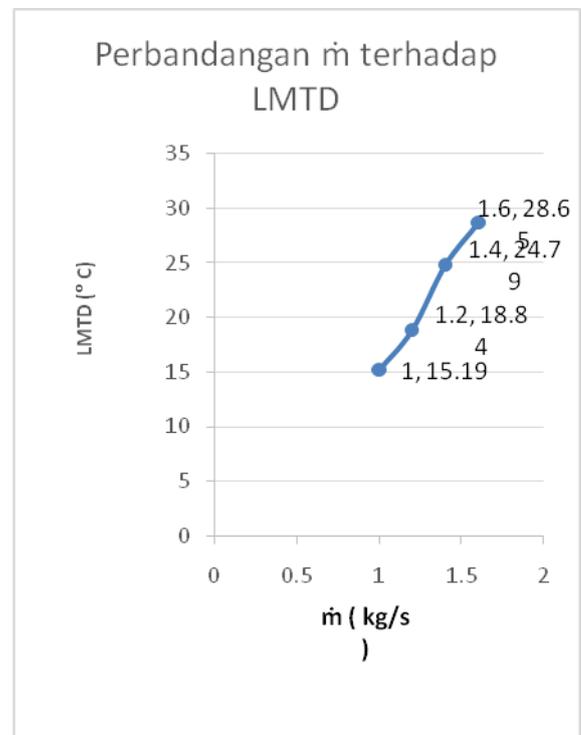
Tahapan uji coba	Q actual (w)	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (w)	Efektivitas %
Uji coba pertama	8,368	93,77	10%
Uji coba kedua	10,041	93,32	8%
Uji coba ketiga	11,715	92,60	6%
Uji coba keempat	13,388	92,15	5%



Grafik 4.2 perbandingan antara Q actual, dengan efektivitas



Grafik 4.1 hasil perbandingan antara Q dengan koefisien menyeluruh



Grafik 4.3 perbandingan antara \dot{m} terhadap LMTD

V. SIMPULAN, SARAN

menghasilkan panas yang maksimal.

4.1. Simpulan

Setelah melakukan perhitungan untuk *heat exchanger* type pipa ganda dapat di simpulkan sbb :

1. Apabila panas yang di pakai (Qaktual) semakin besar maka, nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruhnya semakin menurun seperti pada grafik 4.1 karna di pengaruh oleh laju aliran air dinginnya semakin meningkat.
2. Apabila panas yang di pakai (Qaktual) semakin besar maka, nilai efektivitasnya semakin meningkat. Berarti untuk alat penukar kalor aliran berlawanan arah atau (*counter flow*) lebih efektif seperti pada grafik 4.2
3. Apabila laju aliran massa (\dot{m}) semakin besar maka perbedaan temperatur rata-rata (LMTD) akan semakin meningkat seperti pada grafik 4.3

Daftar Pustaka

- (1) Frank Kreith, 1994, Prinsip-prinsip Perpindahan Panas, Erlangga, Jakarta.
- (2) Holman, J.P., 1997, Perpindahan Kalor, Erlangga Jakarta.
- (3) Jones, W. dan Stoeker, WF. 1992. alih bahasa Supratman Hara. Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara. Edisi kedua. Erlangga : Jakarta.
- (4) Raldi artono koestoer, " edisi pertama". 2002 perpindahan kalor, salemba teknika, jakarta.
- (5) J. P. Holman, heat transfer, tenth edition".chapter10.

4.2. SARAN

Berdasarkan hasil perhitungan yang diperoleh, untuk saran kepada pembaca maupun penulis yg mengembangkan skripsi ini supaya lebih sempurna:

- Dengan penelitian apk type pipa ganda agar di pertimbangkan temperatur yang akan di timbulkan dari hetter
- Untuk penelitian selanjutnya yang sama, akan sangat lebih baik apabila di tambah sirif di pipa gandanyaagar dapat