

**MODUL – 1.07**  
**PENUKAR PANAS**

**OLEH:**  
**RUDI HARTONO,ST.,MT**



**LABORATORIUM OPERASI TEKNIK KIMIA**  
**FAKULTAS TEKNIK -JURUSAN TEKNIK KIMIA**  
**UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA**  
**CILEGON - BANTEN**  
**2008**

## PENUKAR PANAS

### 1. TUJUAN PENELITIAN

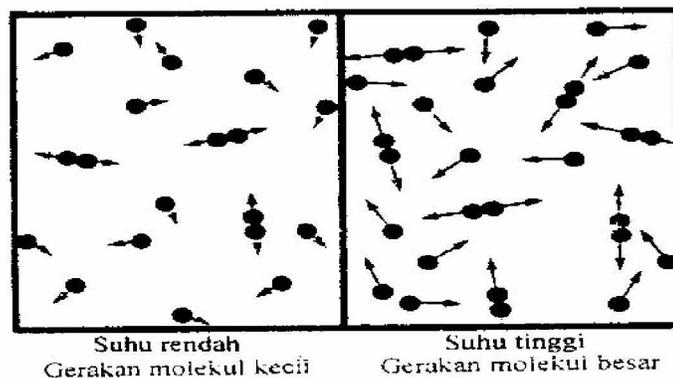
1. Melihat Fenomena perpindahan panas secara konveksi dan terjadinya pendidihan
2. Menentukan harga koefisien perndahan panas Overall (U) sistem dua fluida di dalam alat penukar panas *Plate and Frame*
3. Mempelajari pengaruh variabel laju alir fluida, temperatur fluida, dan arah aliran terhadap koefisien perpindahan panas overall (U)
4. Membandingkan unjuk kerja *Counter Current* dan *Co-Current*

### 2. DASAR TEORI

Apabila dua benda yang berbeda temperatur dikontakkan, maka panas akan mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda yang bertemperatur lebih rendah. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dapat berupa konduksi, konveksi, atau radiasi. Dalam aplikasinya, ketiga mekanisme ini dapat saja berlangsung secara simultan.

#### 2.1. Konduksi ( keadaan *steady* )

Suatu material bahan yang mempunyai *gradient*, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran. Konduksi *thermal* pada logam - logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi *thermal* mempunyai hubungan dengan konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul [McCabe,1993]



Gambar 2.1 Pergerakan molekul yang sama dengan suhu beda

Contoh perpindahan kalor secara konduksi antara lain: perpindahan kalor pada logam cerek pemasak air atau batang logam pada dinding tungku. Laju

perpindahan kalor secara konduksi sebanding dengan gradien suhu [McCabe,1993].

$$q \sim \frac{\partial T}{\partial x}$$

dan dengan konstanta kesetimbangan (konduksi) maka menjadi persamaan *Fourier*

$$q = -k A \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana; q = laju perpindahan kalor

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = gradien suhu kearah perpindahan kalor

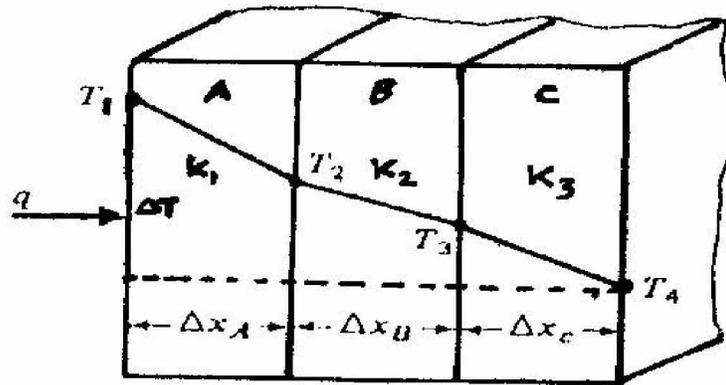
k = konduktivitas termal

A = luas permukaan bidang hantaran

Tanda (-) digunakan untuk memenuhi hukum II Thermodinamika yaitu “ Kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur “ [Holman,1986].

**2.1.1. Laju perpindahan panas secara konduksi pada tahanan seri**

Laju perpindahan panas secara konduksi pada tahanan seri dengan ketebalan material, konduktivitas thermal yang berbeda, sehingga penurunan temperatur juga berbeda, maka kalor yang dipindahkan :



Gambar 2.2 Konduksi pada tahanan seri [McCabe,1993]

$$q = - \frac{(T_4 - T_1)}{R_1 + R_2 + R_3} \dots\dots\dots(2.2)$$

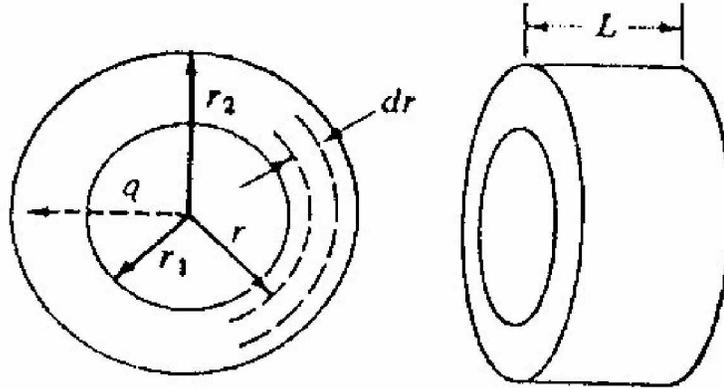
dimana : R = Tahanan perpindahan panas

$$R = \Delta x / (k \cdot A)$$

A = Luas permukaan perpindahan panas

**2.1.2. Laju perpindahan panas secara konduksi pada silinder**

Laju perpindahan panas secara konduksi pada silinder mempunyai perbedaan dengan laju perpindahan panas secara konduksi pada pelat / balok, karena beda persamaan luas bidang permukaan [ Geankoplis, 1993]



Gambar 2.3. Perpindahan panas secara konduksi pada silinder [Geankoplis,Christie j, 1993]

$$q = -k \cdot A_{Ln} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

$$A_{Ln} = \frac{2 \pi L \cdot (r_2 - r_1)}{\ln (r_2 / r_1)}$$

$$\partial T = (T_2 - T_1)$$

$$\partial r = (r_2 - r_1)$$

**2.2. Konveksi**

Arus fluida yang melintas pada suatu permukaan, maka akan ikut terbawa sejumlah enthalphi. Aliran enthalphi ini disebut aliran konveksi kalor atau konveksi. Konveksi merupakan suatu fenomena makroskopik dan hanya berlangsung bila ada gaya yang bekerja pada partikel atau ada arus fluida yang dapat membuat gerakan melawan gaya gesek [McCabe,1993] . Contoh sederhana perpindahan panas secara konveksi adalah aliran air yang dipanaskan dalam belanga.

Kalor yang dipindahkan secara konveksi dinyatakan dengan persamaan Newton tentang pendinginan [Holman , 1986 ].

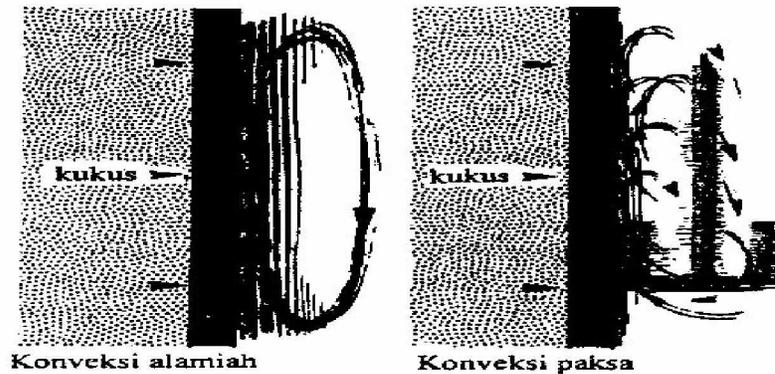
$$q = - h \cdot A \cdot \partial T \dots\dots\dots(2.4)$$

- dimana :
- q = Kalor yang dipindahkan
  - h = Koefisien perpindahan kalor secara konveksi
  - A = Luas bidang permukaan perpindahan panas
  - T = Temperatur

Tanda minus ( - ) digunakan untuk memenuhi hukum II termodinamika, sedangkan panas yang dipindahkan selalu mempunyai tanda positif ( + ). Berdasarkan gaya penyebab terjadinya arus aliran fluida, konveksi dapat diklasifikasikan:

### 2.2.1. Konveksi alamiah ( *natural / free convection* )

Konveksi alamiah dapat terjadi karena ada arus yang mengalir akibat gaya apung, sedangkan gaya apung terjadi karena ada perbedaan densitas fluida tanpa dipengaruhi gaya dari luar sistem. Perbedaan densitas fluida terjadi karena adanya gradien suhu pada fluida. Contoh konveksi alamiah antara lain aliran udara yang melintasi radiator panas [McCabe,1993]



Gambar 2.4 Ilustrasi aliran fluida pada konveksi alamiah dan paksa

### 2.2.2. Konveksi paksa ( *forced convection* )

Konveksi paksa terjadi karena arus fluida yang terjadi digerakkan oleh suatu peralatan mekanik ( contoh : pompa, pengaduk ), jadi arus fluida tidak hanya tergantung pada perbedaan densitas. Contoh perpindahan panas secara konveksi paksa antara lain : pemanasan air yang disertai pengadukan.

### 2.3. Radiasi ( pancaran )

Pada radiasi panas, panas diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui ruang media penghantar. Jika gelombang tersebut mengenai suatu benda, maka gelombang dapat mengalami transisi ( diteruskan ), refleksi ( dipantulkan ), dan absorpsi ( diserap ) dan menjadi kalor. Hal itu tergantung pada jenis benda, sebagai contoh memantulkan sebagian besar radiasi yang jatuh padanya, sedangkan permukaan yang berwarna hitam dan tidak mengkilap akan menyerap radiasi yang diterima dan diubah menjadi kalor. Contoh radiasi panas antara lain pemanasan bumi oleh matahari.

Menurut hukum *Stefan Boltzmann* tentang radiasi panas dan berlaku hanya untuk benda hitam, bahwa kalor yang dipancarkan ( dari benda hitam ) dengan

laju yang sebanding dengan pangkat empat temperatur absolut benda itu dan berbanding langsung dengan luas permukaan benda [ **Artono Koestoer,2002** ].

$$q \text{ pancaran} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana:  $\sigma$  = konstanta proporsionalitas ( tetapan *Stefan boltzmann* )  
 $\sigma = 5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W / m}^2 \cdot \text{K}^4$   
 A = luas permukaan bidang benda hitam  
 T = temperatur absolut benda hitam

**2.4.Sistem aliran penukar panas**

Proses pertukaran panas antara dua fluida dengan temperatur yang berbeda, baik bertujuan memanaskan atau mendinginkan fluida banyak diaplikasikan secara teknik dalam berbagai proses thermal di industri. Terdapat berbagai jenis penukar panas menurut ukuran, efektifitas, perpindahan panas, aliran , jenis konstruksi. Namun berdasar sistem kerja yang digunakan, penukar panas dapat digolongkan menjadi dua system utama, yaitu :

**2.4.1. Pertukaran panas secara langsung**

Materi yang akan dipanaskan atau didinginkan dikontakkan langsung dengan media pemanas atau pendingin ( missal : kontak langsung antara fluida dengan kukus, es ). Methode ini hanya dapat digunakan untuk hal – hal tertentu yang khusus.

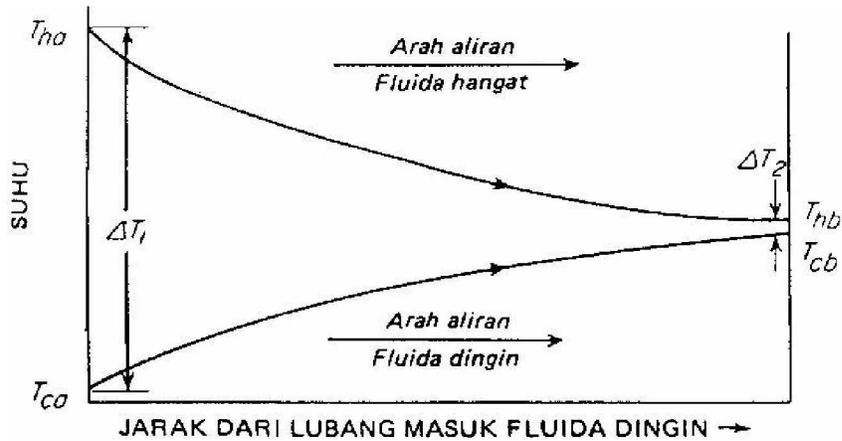
**2.4.2.Pertukaran panas secara tidak langsung**

Pertukaran panas secara tidak langsung memungkinkan terjadinya perpindahan panas dari suatu fluida ke fluida lain melalui dinding pemisah. Berdasarkan arah aliran fluida, pertukaran panas dapat dibedakan :

**2.4.2.1. Pertukaran panas dengan aliran searah ( *co – current / paralel flow* )**

Pertukaran panas jenis ini, kedua fluida ( dingin dan panas ) masuk pada sisi penukar panas yang sama, mengalir dengan arah yang sama, dan keluar pada sisi yang sama pula. Karakter penukar panas jenis ini, temperatur fluida dingin yang keluar dari alat penukar panas (  $T_{cb}$  ) tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas (  $T_{hb}$  ), sehingga diperlukan media pendingin atau media pemanas yang banyak. Neraca panas yang terjadi :

$$M_c \cdot ( T_{cb} - T_{ca} ) = M_h \cdot ( T_{ha} - T_{hb} ) \dots\dots\dots (2.6)$$



Gambar 2.5 Profil temperatur pada aliran *co – current* [McCabe,1993]

Dengan asumsi nilai kapasitas panas spesifik (  $c_p$  ) fluida dingin dan panas konstan, tidak ada kehilangan panas ke lingkungan serta keadaan steady state, maka kalor yang dipindahkan :

$$q = U \cdot A \cdot T_{LMTD} \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana :  $U$  = koefisien perpindahan panas secara keseluruhan (  $W / m^2 \cdot ^\circ C$  )

$A$  = luas perpindahan panas (  $m^2$  )

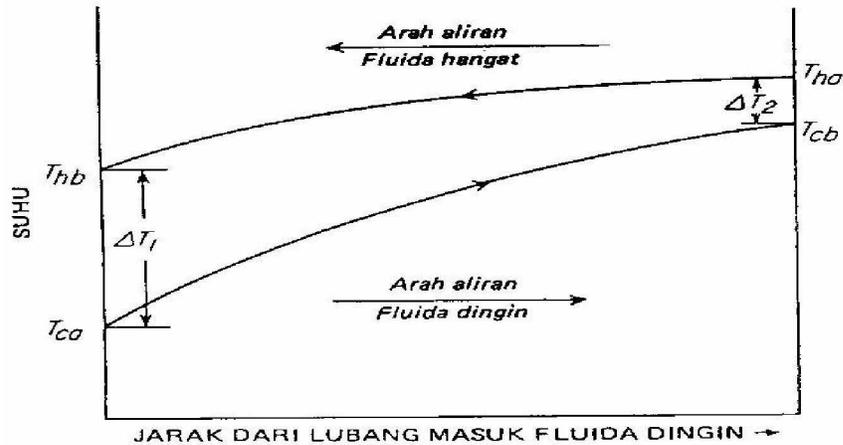
$$T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)} \quad (\text{log mean temperature diffrensial})$$

$$\Delta T_2 = T_{hb} - T_{cb}$$

$$\Delta T_1 = T_{ha} - T_{ca}$$

**2.4.2.2. Pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah ( *counter flow* )**

Penukar panas jenis ini, kedua fluida ( panas dan dingin ) masuk penukar panas dengan arah berlawanan, mengalir dengan arah berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan . Temperatur fluida dingin yang keluar penukar panas (  $T_{cb}$  ) lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar penukar panas (  $T_{hb}$  ), sehingga dianggap lebih baik dari alat penukar panas aliran searah (*Co-Current*).



Gambar 2.6. Profil temperatur pada aliran counter current [McCabe,1993]

Kalor yang dipindahkan pada aliran *counter current* mempunyai persamaan yang sama dengan persamaan ( 2.7 ), dengan perbedaan nilai  $T_{LMTD}$  , dengan pengertian beda  $\Delta T_1$  dan  $\Delta T_2$ , yaitu:

$$\Delta T_1 = T_{hb} - T_{ca}$$

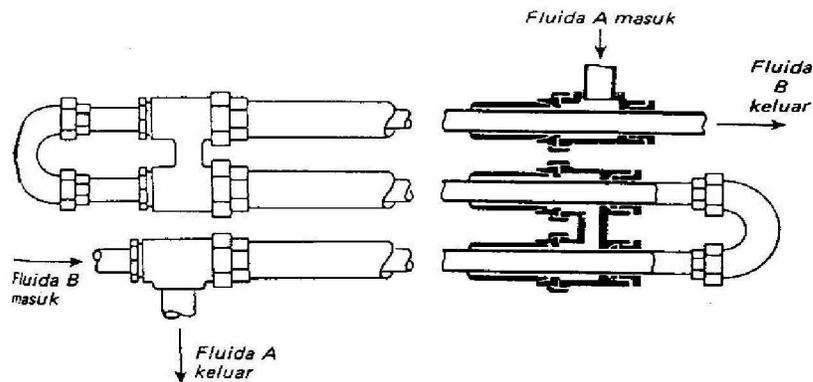
$$\Delta T_2 = T_{ha} - T_{cb}$$

## 2.5. Alat penukar panas

Alat penukar panas konvensional seperti penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*) dan penukar panas cangkang buluh (*shell and tube heat exchanger*) selama beberapa decade mendominasi fungsi sebagai penukar panas di industri. Perkembangan kemudian, karena tuntutan efisiensi energi, biaya, serta tuntutan terhadap beban perpindahan panas yang lebih tinggi dengan ukuran penukar panas yang kompak menjadi penting. Menanggapi hal itu, maka dibuat suatu penukar panas kompak. Salah satu jenis penukar panas kompak tersebut adalah penukar panas *Plate and frame Heat Exchanger*.

### 2.5.1. Penukar panas pipa rangkap (*double pipe heat exchanger*)

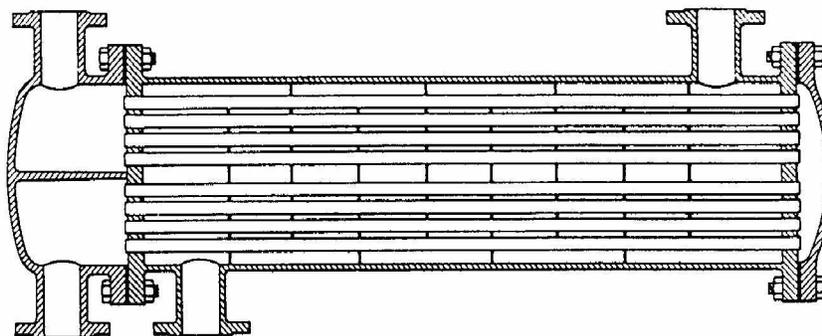
Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi. Sedangkan untuk kapasitas yang lebih besar digunakan penukar panas jenis selongsong dan buluh (*shell and tube heat exchanger*).



Gambar 2.7. Penukar panas jenis pipa rangkap

### 2.5.2. Penukar panas cangkang dan buluh ( *shell and tube heat exchanger* )

Alat penukar panas cangkang dan buluh terdiri atas suatu bundel pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang ). Fluida yang satu mengalir di dalam bundel pipa, sedangkan fluida yang lain mengalir di luar pipa pada arah yang sama, berlawanan, atau bersilangan. Kedua ujung pipa tersebut dilas pada penunjang pipa yang menempel pada mantel. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar panas cangkang dan buluh dipasang sekat ( *baffle* ). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal ( *residence time* ), namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang dipertukarkan panasnya harus diatur.

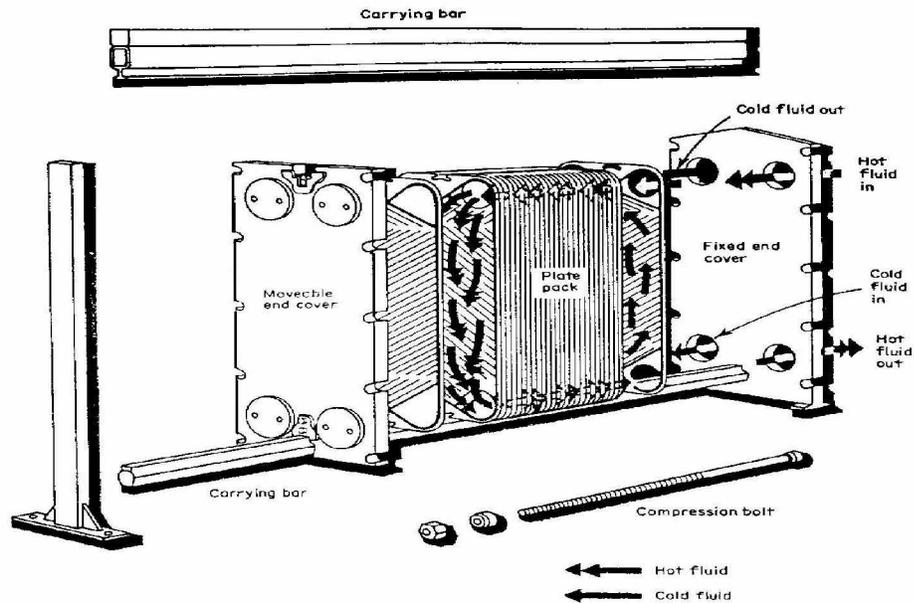


Gambar 2.8. Penukar panas jenis cangkang dan buluh

### E.3.3. Penukar Panas Plate and Frame ( *plate and frame heat exchanger* )

Alat penukar panas pelat dan bingkai terdiri dari paket pelat – pelat tegak lurus, bergelombang, atau profil lain. Pemisah antara pelat tegak lurus dipasang penyekat lunak ( biasanya terbuat dari karet ). Pelat – pelat dan sekat disatukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat

( kebanyakan segi empat ) terdapat lubang pengalir fluida. Melalui dua dari lubang ini, fluida dialirkan masuk dan keluar pada sisi yang lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebelahnya karena ada sekat.



Gambar 2.9. Penukar panas jenis pelat and Frame

## 2.6. Perhitungan Perpindahan Panas

### 2.6.1. Neraca enthalphi dalam penukar panas

Panas yang dipindahkan untuk salah satu arus fluida dalam penukar panas

$$q = m \cdot (H_b - H_a) \dots\dots\dots (2.8)$$

dimana

$q$  = laju perpindahan kalor ke dalam arus fluida

$m$  = Laju alir massa

$H_a, H_b$  = Enthalphi persatuan massa arus fluida masuk dan keluar alat penukar panas.

Perpindahan kalor dari atau ke udara sekitar tidak dikehendaki. Salah satu dari kedua arus fluida yang berada disebelah luar dapat mengambil kalor atau melepaskan kalor ke udara sekitar jika fluida itu lebih dingin atau lebih panas. Pencegahan hal itu dilakukan dengan mengisolasi penukar panas. Dengan

menggunakan persamaan ( 2.8 ) dapat digunakan untuk menghitung besarnya kalor yang dipindahkan masing - masing fluida :

- Fluida panas,  $q = m_h \cdot ( H_{hb} - H_{ha} )$
- Fluida dingin,  $q = m_c \cdot ( H_{cb} - H_{ca} )$

dimana,  $m_c, m_h$  = Laju alir massa fluida dingin, fluida panas

$H_{ca}, H_{ha}$  = Enthalphi persatuan massa fluida dingin, fluida panas saat masuk penukar panas.

$H_{cb}, H_{hb}$  = Enthalphi persatuan massa fluida dingin, fluida panas saat keluar penukar panas.

$q_c, q_h$  = laju perpindahan panas fluida dingin, panas.

Tanda  $q_c$  adalah positif ( + ), tetapi tanda  $q_h$  negatif ( - ). Hal itu dibuat karena fluida panas melepas kalor, dan panas yang dilepaskan diambil fluida dingin, sehingga persamaan menjadi :

$$q_c = - q_h$$

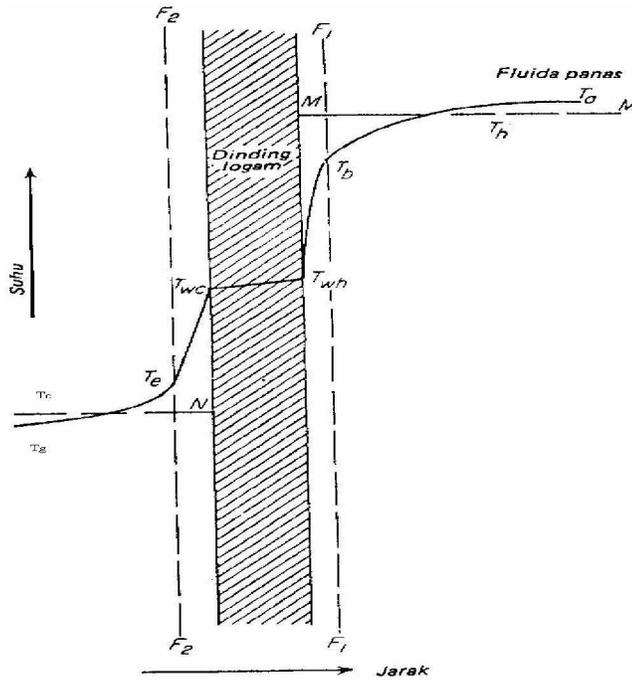
$$m_h \cdot ( H_{ha} - H_{hb} ) = m_c \cdot ( H_{cb} - H_{ca} )$$

dan jika kalor spesifik (  $c_p$  ) dianggap konstan, neraca enthalphi dapat dituliskan :

$$m_h \cdot c_{ph} \cdot ( T_{ha} - T_{hb} ) = m_c \cdot c_{pc} \cdot ( T_{cb} - T_{ca} ) \dots\dots\dots ( 2.9 )$$

**2.6.2. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)**

Profil gradient temperatur perpindahan panas yang terjadi pada suatu dinding ( logam ) antara fluida panas pada satu sisi dan fluida dingin pada sisi lain dengan pengaliran konveksi paksa. Pada gambar 2-10 memperlihatkan penurunan temperature secara bertahap yang terdiri dari konveksi ( pada fluida panas ), konduksi ( pada logam ) dan konveksi pada fluida dingin. Dengan persamaan Fourier tentang konduksi dan persamaan Newton tentang pendinginan ( konveksi), maka panas yang dipindahkan dapat dibedakan, antara lain :



Gambar 2.10 Gradien suhu pada konveksi paksa

1. Konveksi pada fluida panas,
 
$$dq = -h A dT$$

$$dq = -h A ( T_{wh} - T_h )$$

$$dq = h A ( T_h - T_{wh} )$$

$$dq = h_1 A_1 ( T_h - T_{wh} )$$

$$( T_h - T_{wh} ) = dq \cdot ( 1 / ( h_1 dA_1 ) )$$
2. Konduksi pada dinding logam,
 
$$dq = -k A_{Lmtd} dT / \Delta x$$

$$dq = -k A ( T_{wc} - T_{wh} ) / \Delta x$$

$$dq = k A_{Lmtd} ( T_{wh} - T_{wc} ) / \Delta x$$

$$( T_{wh} - T_{wc} ) = dq ( \Delta x / ( k dA_{Lmtd} ) )$$
3. Konveksi pada fluida dingin,
 
$$dq = h_2 A_2 ( T_{wc} - T_c )$$

$$( T_{wc} - T_c ) = dq ( 1 / ( h_2 dA_2 ) )$$

Dari penggabungan di atas didapat persamaan :

$$(T_h - T_{wh}) = dq ( 1 / h_1 dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2 )$$

Karena  $dq = U A \Delta T$  atau  $dq = U A ( T_h - T_c )$  , dari ( persamaan 2.7 )

atau  $( T_h - T_c ) = \frac{dq}{dAU} = dq ( 1 / h_1 dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2 )$

$$\text{Maka } \frac{1}{dA.U} = \left[ \frac{1}{h_1 \cdot dA_1} + \frac{\Delta x}{k \cdot dA_{LMTD}} + \frac{1}{h_2 \cdot dA_2} \right] \dots\dots\dots( 2.10 )$$

Persamaan di atas (2.10) dengan asumsi tidak ada kerak atau kotoran pada salah satu atau kedua permukaan tabung penukar panas. Namun jika kerak atau kotoran diperhitungkan sebagai penambah tahanan terhadap aliran panas yang mempengaruhi nilai U, maka pers. ( 2.10 ) menjadi:

$$( T_h - T_c ) = dq/dAU = dq ( 1 / h_1 dA_1 + 1 / h_{d1} dA_1 + \Delta x / k dA_{LMTD} + 1 / h_2 dA_2 +$$

$$\frac{1}{h_{d2} dA_2} )$$

$$\text{Maka } \frac{1}{dA.U} = \left\{ \frac{1}{h_1 \cdot dA_1} + \frac{1}{h_{d1} \cdot dA_1} + \frac{\Delta x}{k \cdot dA_{LMTD}} + \frac{1}{h_2 \cdot dA_2} + \frac{1}{h_{d2} \cdot dA_2} \right\}$$

### 3. CARA KERJA

#### Percobaan I

1. Hidupkan pemanas 600W, siapkan 500 gram air dan thermometer dalam gelas beker, tuangkan sedikit zat warna (potassium permanganat). Catat suhu awal air sebelum dipanaskan, hidupkan stop watch ketika air mulai dipanaskan. Amati apa yang terjadi sejak air dipanaskan sampai mendidih. Catat waktu yang diperlukan hingga air mulai mendidih (100°C)
2. Matikan pemanas setelah air mendidih, timbang kembali untuk mengetahui banyaknya air yang menguap

#### Percobaan II

Langkah-langkah dalam melakukan percobaan adalah sebagai berikut:

1. Memastikan semua alat-alat percobaan dalam kondisi baik.
2. Memastikan semua sistem perpipaan serta kerangan ( jalur ) telah siap untuk dioperasikan.
3. Start pompa air dingin dan pompa air panas untuk sirkulasi ke masing-masing tangki penampungan.
4. Melakukan kalibrasi laju air untuk masing-masing sistem aliran ( air dingin dan air panas ).

5. Melakukan pengambilan data untuk aliran searah (**Co-Current**) dan berlawanan arah (**Counter-Current**) dengan cara mencatat temperatur masuk dan keluar HE pada masing-masing sistem aliran (air dingin dan air panas).

#### **4. ALAT DAN BAHAN PERCOBAAN**

##### 4.1. Alat Bantu

1. Thermometer
2. Gelas beaker berisi air 500 ml
3. Rangkaian *Plate and Frame Heat Exchanger*
4. Stop Watch

##### 4.2. Bahan Percobaan

1. Sedikit zat warna di atas pemanas listrik 600 W
2. Air, sebagai fluida panas dan dingin (fluida dingin dialirkan sekali lewat)

#### **5. GAMBAR ALAT (Terlampir)**

#### **6. HASIL PERCOBAAN**

1. Dari neraca panas dapat diperoleh panas hilang ke lingkungan.
2. Grafik-Grafik:
  - 2.1. Grafik kalibrasi aliran fluida panas dan fluida dingin
  - 2.2. Grafik  $T$  Vs  $x$ , panjang plate
  - 2.3.  $Q$  (m,H) Vs  $T$ , untuk masing-masing tipe aliran . Dalam satu grafik ada dua kurva (Hot dan Cold)
  - 2.4. Harga  $U$  (Koefisien perpindahan panas keseluruhan) Heat Exchanger yang dipakai.

#### **7. PEMBAHASAN (terlampir)**

#### **8. PENUGASAN**

1. Pengubahan laju alir, baik aliran panas maupun aliran dingin.
2. Pengubahan temperatur masukan aliran panas maupun aliran dingin
3. Pengubahan arah aliran berlawanan arah atau aliran searah.

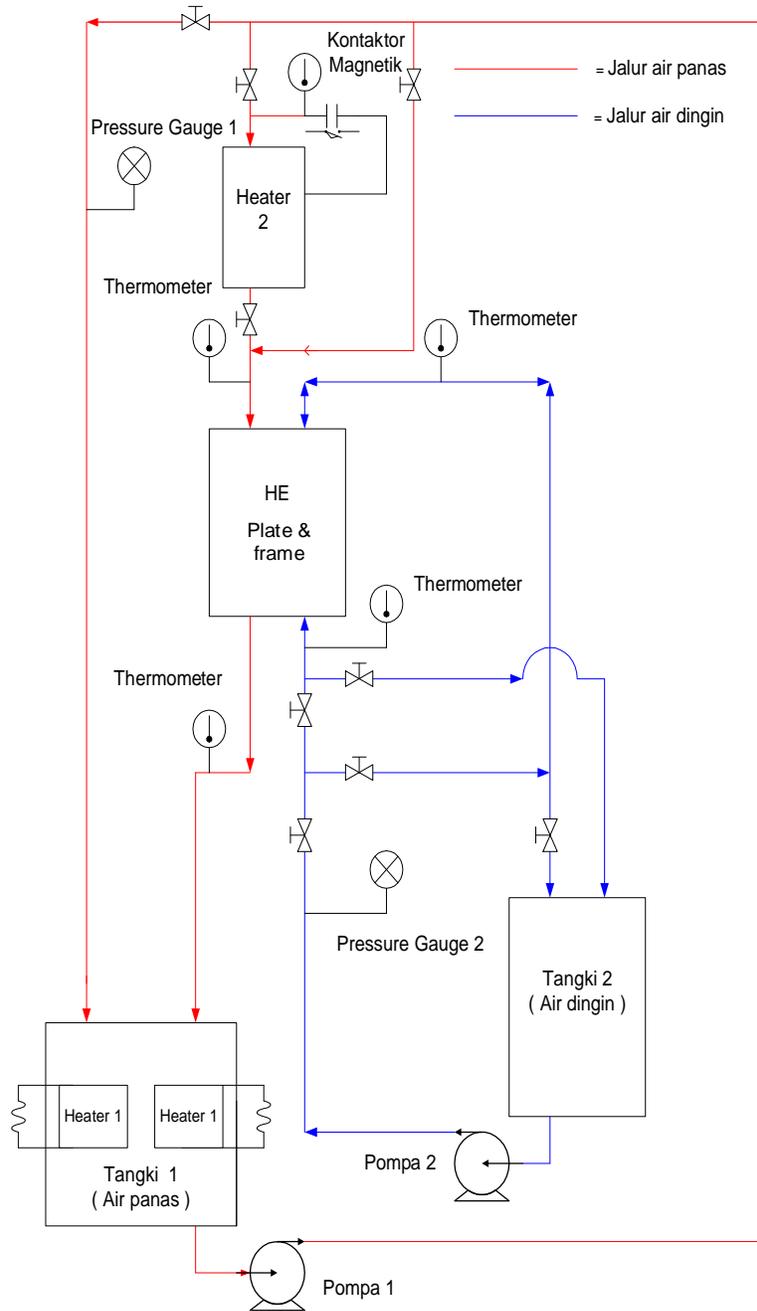
Keragaman tersebut dapat diarahkan untuk mempelajari kelakuan koefisien perpindahan panas keseluruhan ( $U$ ).

#### **9. DAFTAR PUSTAKA**

1. Artono Koestoer, Raldi .”Perpindahan Kalor”. Salemba Teknika. Jakarta 2002
2. Holman, JP. Alih bahasa E.Jasifi. “Perpindahan Kalor”. Penerbit Erlangga.Jakarta.1995

3. MC. Cabe, W.L, Smith, JC, Harriot, P, “ Unit Operation of Chemical Engineering”, 4th ed, Mc.Graw-Hill, New York, 1985, Chapter 11, 12, 15
4. Kern, DQ, “Process Heat Transfer”, Mc.Graw-Hill, New York, 1965
5. Kays,W.M. and London, A.L, “Compact Heat Exchanger”, 2 nd Edition McGraw-Hill, New York, 1964
6. Modul Praaktikum Laboratorium Teknik Kimia ITB
7. Modul Praktikum Laboratorium Teknik Kimia Bung Hatta Padang

**Diagram rangkain alat percobaan tampak seperti gambar di bawah ini :**



**Diagram rangkaian peralatan percobaan**