

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Heat transfer adalah ilmu yang mempelajari tentang kecepatan perpindahan panas dari sumber panas (*heat body*) ke penerima panas (*cold body*). Manfaat ilmu ini adalah untuk membantu merancang alat yang berhubungan dengan perpindahan panas, seperti *cooler*, *condenser*, *reboiler*, *evaporator*, *heat exchanger*, dan lain sebagainya.

Di dalam dunia industri, setelah alat penukar panas (*heat exchanger*) dirancang, dibutuhkan parameter-parameter seperti faktor kekotoran yang mengindikasikan kelayakan dan kapan alat penukar panas tersebut perlu dibersihkan (*cleaning*).

Dengan diketahui kelayakan suatu alat perpindahan panas dari perhitungan suhu fluida panas masuk (T_{hi}), suhu fluida panas keluar (T_{ho}), suhu fluida dingin masuk (t_{ci}), dan suhu fluida dingin keluar (t_{co}) berdasarkan pengamatan, maka alat penukar panas dapat didesain dengan perhitungan neraca panas.

1.2 Rumusan Masalah

Pada praktikum ini akan dipelajari pengaruh kenaikan skala *flowrate* pada aliran *hot fluid*, dan perbedaan suhu awal *hot fluid* terhadap parameter yang mempengaruhi proses perpindahan panas. Performa dari suatu *Heat exchanger* dipengaruhi oleh jenis aliran (*co-current* dan *counter-current*), kecepatan aliran, serta suhu fluida. Parameter proses perpindahan panas yang akan dihitung berdasarkan data perubahan suhu saat praktikum berlangsung yaitu *overall heat transfer coefficient* (U). Untuk itu perlu dilakukan percobaan untuk mengetahui kinerja *heat exchanger* terhadap parameter tersebut.

1.3 Tujuan Percobaan

1. Mampu memahami cara kerja perpindahan panas pada alat *brazed plate heat exchanger*.
2. Mampu menghitung dan membandingkan nilai U teoritis dan praktis
3. Mampu menggambar grafik hubungan *flowrate* vs U teoritis dan praktis
4. Mampu menentukan korelasi antara bilangan Nusselt, Prandtl, dan Reynold serta membandingkannya terhadap data teoritis dan praktis.
5. Mampu mengevaluasi pengaruh suhu fluida panas terhadap nilai perpindahan panas.

1.4 Manfaat Praktikum

Manfaat percobaan ini adalah untuk membantu memahami dasar perancangan alat yang berhubungan dengan perpindahan panas misalnya *cooler*, *condenser*, *reboiler*, *evaporator*, dan *heat exchanger*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang kecepatan perpindahan panas di antara sumber panas (*hot body*) dan penerima panas (*cold body*). Pemahaman mengenai perpindahan panas sangat penting dalam perancangan berbagai peralatan proses yang melibatkan pertukaran energi termal, *cooler, heater, condenser, reboiler, evaporator*, maupun *heat exchanger*.

Percobaan dilaksanakan dengan tipe alat *brazed plate heat exchanger* yang merupakan alat penukar panas *plate and frame* yang dioperasikan secara berlawanan arah atau *counter current*. Sebelum dioperasikan, fluida panas dibuat dahulu melalui *hot tank* dengan pemanas listrik dan fluida dingin dibuat melalui tangki yang merupakan *refrigerator*.

Prinsip percobaan tersebut adalah menentukan nilai *overall heat transfer coefficient* (U) pada alat tersebut melalui variasi kecepatan aliran fluida panas dan fluida dingin. Besarnya panas yang ditransfer dihitung berdasarkan perubahan temperatur fluida antara kondisi masuk dan keluar pada setiap variasi kecepatan aliran. Sementara itu, nilai *log mean temperatur difference* (LMTD) ditentukan dari perbedaan temperatur masuk dan keluar, baik pada fluida panas maupun fluida dingin.

Harga U dapat dihitung berdasarkan ukuran alat penukar panas yang dirumuskan dengan persamaan

$$Q = U.A.LMTD \quad (2.1)$$

Dengan,

Q = kecepatan perpindahan panas secara konduksi (Btu/hr)

U = koefisien perpindahan panas ($J/s.m^2.^{\circ}C$)

A = luas perpindahan panas (ft^2)

LMTD = beda temperatur rata-rata logaritma ($^{\circ}C$)

Dari berbagai variasi perubahan kecepatan aliran, dapat diketahui adanya perubahan harga U terhadap perubahan kecepatan aliran.

Untuk mengetahui jumlah panas yang dipindahkan dapat menggunakan alat berupa *heat exchanger* (HE). Ada beberapa jenis *heat exchanger*, yaitu:

1. *Shell and tube heat exchanger*
2. *Double pipe heat exchanger*
3. *Extended surface heat exchanger*
4. *Air cool heat exchanger*

5. *Plate and frame heat exchanger*

Plate and frame heat exchanger digunakan karena kelebihan sebagai berikut apabila dibandingkan dengan jenis *heat exchanger* lainnya.

1. Modifikasi mudah dilakukan dengan menambahkan/mengurangi *plate* ataupun menyusun kembali jumlah *pass*
2. Memiliki kontrol suhu yang baik
3. Bersifat relatif tidak mahal
4. Aliran bersifat turbulen sehingga proses perpindahan panas menjadi lebih baik
5. Membutuhkan area yang kecil dibandingkan dengan jenis lainnya
6. *Fouling* minimal dikarenakan aliran turbulen dan *residence time* yang rendah
7. Pembersihan dan inspeksi mudah pada bagian yang dialiri fluida dikarenakan komponen dapat dipisahkan
8. Terdapat sekat yang mencegah fluida bercampur apabila terjadi kegagalan operasi

Di samping kelebihan yang dimiliki, *heat exchanger* jenis *plate and frame* juga memiliki beberapa kekurangan seperti berikut:

1. Keterbatasan operasi pada suhu dan tekanan tidak begitu tinggi
2. *Pressure drop* besar akibat area alir yang kecil
3. Tidak disarankan untuk operasi dengan fluida gas atau uap
4. Tidak disarankan untuk operasi dengan fluida berviskositas tinggi karena dapat menyebabkan *pressure drop* yang lebih besar dan distribusi aliran bermasalah
5. Tidak dapat digunakan untuk fluida mudah terbakar dan beracun karena berpotensi terjadi kebocoran
6. Friksi antar *plate* dapat menyebabkan terjadinya lubang kecil yang sulit untuk ditemukan

Perpindahan panas yang terjadi di *heat exchanger* akan didahului dengan panas yang terjadi di masing-masing pipa dan tergantung pada sifat bahan dan diameter pipa. Makin besar diameter pipa makin besar perpindahan panasnya. Biasanya panas yang melewati dinding secara keseluruhan ditentukan oleh koefisien luar maupun dalam. Untuk konduksi ditentukan oleh tebal pipa dan bahan pipa. Hantaran panas *heat exchanger* ditentukan oleh koefisien perpindahan panas secara menyeluruh (U).

2.2 Jenis-Jenis Perpindahan Panas

Menurut cara penghantar dayanya, perpindahan panas dibedakan menjadi:

1. Konduksi

Merupakan perpindahan panas yang terjadi karena molekul-molekul dalam zat bersinggungan, dimana besarnya kecepatan perpindahan panas:

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.2)$$

Dengan,

Q = kecepatan perpindahan panas secara konduksi (Btu/hr)

A = luas perpindahan panas (ft^2)

k = konduktivitas (Btu/ft.hr. $^{\circ}\text{F}$)

T = beda suhu antara permukaan panas dan dingin ($^{\circ}\text{F}$)

x = tebal bahan yang dilalui panas (ft)

Berdasarkan hukum Fourier, besarnya Q tergantung pada:

- Besar kecilnya konduktivitas (k)
- Berbanding lurus dengan beda suhu (ΔT)
- Berbanding terbalik dengan ketebalan (Δx)

2. Konveksi

Merupakan perpindahan panas yang disebabkan adanya gerakan atom/molekul suatu fluida yang bersinggungan dengan permukaan. Dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = h \cdot A \cdot (T_s - T_v) \quad (2.3)$$

Dengan,

Q = laju perpindahan panas konveksi (Btu/hr)

h = koefisien perpindahan panas konveksi (Btu/ft².hr. $^{\circ}\text{F}$)

A = luas perpindahan panas (ft^2)

T_s = suhu permukaan batang ($^{\circ}\text{F}$)

T_v = suhu *solubility* ($^{\circ}\text{F}$)

3. Radiasi

Merupakan gelombang perpindahan panas karena adanya perbedaan suhu dan berlangsung secara gelombang elektromagnetik tanpa perantara. Dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) = 0,171 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \quad (2.4)$$

Q = energi perpindahan panas radiasi (Btu/hr)

σ = konstanta Stefan Boltzmann ($1,714 \times 10^{-9}$ Btu/ft² .hr. $^{\circ}\text{F}$)

ε = emisivitas bahan

A = luas bidang (ft^2)

T_1 = suhu mutlak ($^{\circ}\text{F}$)

T_2 = suhu mutlak ($^{\circ}\text{F}$)

2.3 Azas Black

Azas Black adalah suatu prinsip dalam termodinamika yang dikemukakan oleh Joseph Black. Azas ini menjabarkan:

- Jika dua buah benda yang berbeda yang suhunya dicampurkan, benda yang panas memberi kalor pada benda yang dingin sehingga suhu akhirnya sama.
- Jumlah kalor yang diserap benda dingin sama dengan jumlah kalor yang dilepas benda panas.
- Benda yang didinginkan melepas kalor yang sama besar dengan kalor yang diserap bila dipanaskan.

Bunyi Azas Black adalah sebagai berikut: “Pada pencampuran dua zat, banyaknya kalor yang dilepas oleh zat yang bersuhu lebih tinggi sama dengan banyaknya kalor yang diterima oleh zat yang bersuhu lebih rendah”.

Dirumuskan:

$$Q_h = m_h \cdot C_{ph} \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad (2.5)$$

$$Q_c = m_c \cdot C_{pc} \cdot (T_{c1} - T_{c2}) \quad (2.6)$$

Dengan,

Q_h = laju perpindahan panas fluida panas (Btu/hr)

Q_c = laju perpindahan panas fluida dingin (Btu/hr)

m_h = laju alir massa fluida panas (kg/s)

m_c = laju alir massa fluida dingin (kg/s)

T_{h1}, T_{h2} = suhu masuk dan suhu keluar fluida panas ($^{\circ}\text{C}$)

T_{c1}, T_{c2} = suhu masuk dan suhu keluar fluida dingin ($^{\circ}\text{C}$)

2.4 Overall Heat Transfer Coefficient (U)

Hal yang sangat penting untuk menganalisis alat penukar panas adalah koefisien perpindahan panas menyeluruh (U). Koefisien ini merupakan ukuran dari alat penukar panas dalam hal memindahkan panas. Untuk harga U yang besar maka kecepatan perpindahan panas akan besar, namun sebaliknya jika U kecil maka kecepatan perpindahan panas harganya kecil.

Bila dalam alat penukar panas kedua fluida dipisahkan dalam bidang datar maka U dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_h} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_c}} \quad (2.7)$$

h_h = koefisien perpindahan panas konveksi pada sisi fluida panas (Btu/ft².hr.°F)

h_c = koefisien perpindahan panas konveksi pada sisi fluida dingin (Btu/ft².hr.°F)

x = tebal dinding (ft)

k = konduktivitas panas bahan dinding (Btu/ft.hr.°F)

Harga U tergantung pada:

1. Tebal dinding, semakin tebal dinding harga U semakin kecil dan panas yang ditransfer juga semakin kecil.
2. Daya hantar panas.
3. Beda suhu, semakin besar beda suhu maka U semakin besar.
4. Luas bidang permukaan panas.

2.5 Resistance of Dirt

Resistance of dirt merupakan suatu keadaan dimana suatu alat *heat exchanger* terdapat zat pengotor yang dapat mengganggu kinerja *heat exchanger*. Zat pengotor ini dapat mempengaruhi jumlah panas yang ditransfer pada alat *heat exchanger*, sehingga perlu dilakukan pembersihan secara berkala. Jenis *resistance of dirt* yang paling sering terjadi adalah *fouling*.

Fouling adalah peristiwa terakumulasinya padatan yang tidak dikehendaki di permukaan *heat exchanger* yang berkontak dengan fluida kerja, termasuk permukaan *heat transfer*. Peristiwa tersebut adalah pengendapan, pengerakan, korosi, polimerisasi dan proses biologi. Faktor pengotoran ini sangat mempengaruhi perpindahan panas pada *heat exchanger*. Pengotoran ini dapat terjadi akibat endapan dari fluida yang mengalir, ataupun disebabkan oleh korosi pada komponen dari *heat exchanger* akibat pengaruh dari jenis fluida yang dialirkan. Selama *heat exchanger* ini dioperasikan pengaruh pengotoran pasti akan terjadi. Terjadinya pengotoran tersebut dapat mengganggu atau mempengaruhi temperatur fluida mengalir juga dapat menurunkan atau mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh dari fluida tersebut.

Penyebab terjadinya *fouling*:

- Adanya pengotor berat yaitu kerak yang berasal dari hasil korosi atau *coke*.
- Adanya pengotor berpori yaitu kerak lunak yang berasal dari dekomposisi kerak keras.

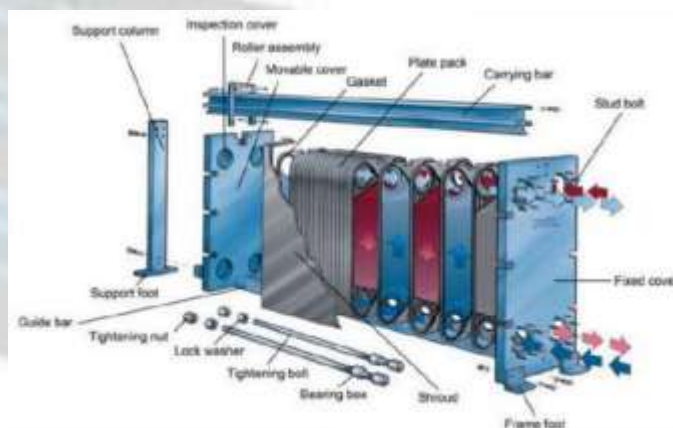
Akibat *fouling*:

- Mengakibatkan kenaikan tahanan *heat transfer*, sehingga meningkatkan biaya, baik investasi, operasi maupun perawatan.
- Ukuran *heat exchanger* menjadi lebih besar, kehilangan energi meningkat, waktu *shutdown* lebih panjang dan biaya perawatan meningkat.

2.6 Jenis *Plate and Frame Heat exchanger*

1. *Gasketed Plate Heat Exchanger*

Gasketed plate heat exchanger merupakan salah satu tipe *heat exchanger* yang umum digunakan pada sistem kondensasi maupun evaporasi. *Plate* disusun dan dihubungkan dengan baut agar mudah dilepas kembali untuk *maintenance*. Mesin *hydraulic* atau mekanik diperlukan untuk merapatkan antar *plate* sebelum dihubungkan menggunakan baut. *Gasket* pada *plate* digunakan untuk mencegah aliran fluida tidak bocor, menjaga tekanan fluida, serta mengarahkan aliran fluida panas untuk tidak bercampur.



Gambar 2.1 *Gasketed plate heat exchanger*

2. *Brazed Plate Heat Exchanger*

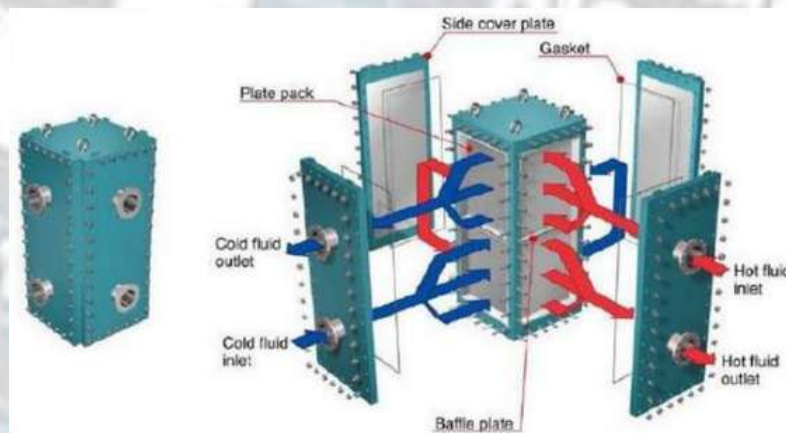
Brazed Plate Heat exchanger memiliki bentuk geometri yang sama dengan *Gasketed Plate Heat Exchanger*, perbedaan ada pada *gasket* yang dihilangkan secara total. *Plate* dihubungkan dengan cara *brazing* menggunakan *copper* atau *nickel alloy* dan *heat exchanger* disegel ketat agar tidak terjadi kebocoran. *Heat exchanger* dapat digunakan pada rentang suhu -160°C hingga 190°C dan tekanan hingga 30 bar. Aplikasi penggunaan *brazed plate heat exchanger*, yaitu pada pemanas distrik, pompa panas, *boiler gas*, dan pengering udara.



Gambar 2.2 *Brazed plate heat exchanger*

3. *Welded Plate Heat Exchanger*

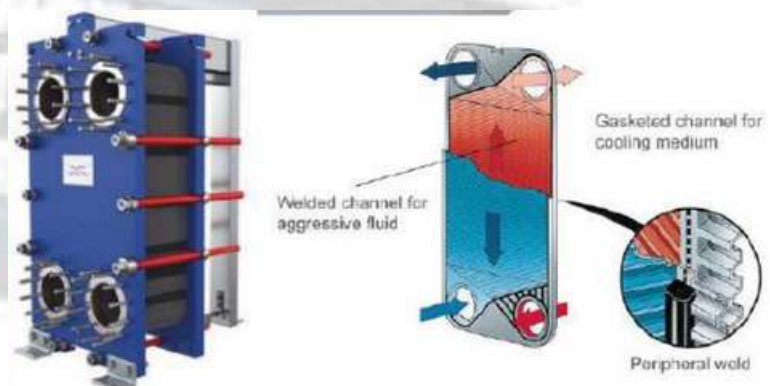
Welded plate heat exchanger terdiri atas banyak *plate* yang disambungkan dengan sistem *welding* sehingga membentuk *cassetes* untuk aliran fluida beroperasi pada sistem perpindahan panas. *Cassetes* ditutup oleh sebuah lapisan sehingga membentuk persegi. Adapun keuntungan menggunakan jenis ini adalah tidak ada kebocoran, hanya perlu sedikit ruang, dan lebih efisien.



Gambar 2.3 *Welded plate heat exchanger*

4. *Semi Welded Plate Heat Exchanger*

Semi Welded Plate Heat exchanger terdiri atas *plates* yang disusun satu dengan yang lain dan dilakukan *welding* pada bagian *sealing groove* yang digunakan nantinya untuk pemasangan *gasket*. *Heat exchanger* ini sering digunakan pada evaporator, kondensor, *desuperheaters*, *cascade duties*, dan *economizer*.



Gambar 2.4 *Semi welded plate heat exchanger*

2.7 Penjabaran Rumus LMTD

Untuk mendesain alat penukar panas dan memperkirakan kemampuan alat penukar panas maka harus ditampilkan hubungan antara total panas yang dipindahkan dengan besaran yang lain misalnya suhu masuk dan suhu keluar

dari kedua fluida, harga koefisien perpindahan panas menyeluruh U dan luas perpindahan panas dari alat penukar panas tersebut.

Panas yang dilepas oleh fluida panas dapat dituliskan dalam bentuk persamaan:

$$Q = m_h \cdot C_{ph} \cdot (T_{h_i} - T_{h_o}) \quad (2.8)$$

Panas tersebut secara keseluruhan diterima oleh fluida dingin yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan:

$$Q_c = m_c \cdot C_{pc} \cdot (t_{c_o} - t_{c_i}) \quad (2.9)$$

Panas yang dilepas oleh fluida panas dan diterima oleh fluida dingin dapat terjadi karena adanya beda suhu $\Delta T = T_h - t_c$ yang disebut beda suhu lokal antara fluida panas dan fluida dingin pada suatu titik atau lokal tertentu, dimana dari ujung pemasukan sampai ujung pengeluaran harga ΔT selalu berubah. Dengan menggunakan neraca energi, dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$dq = m_h \cdot C_{ph} \cdot \Delta T_h = -C_h \cdot \Delta T_h \quad (2.10)$$

Dengan,

$$m_h \cdot C_{ph} = C_h \quad (2.11)$$

Perpindahan panas melalui luasan dA dapat dinyatakan sebagai:

$$dq = U \cdot \Delta T \cdot dA \quad (2.12)$$

Dengan,

$$\Delta T = T_h - t_c \quad (2.13)$$

$$d(\Delta T) = dT_h - dt_c \quad (2.14)$$

$$dq = -C_h \cdot \Delta T_h \rightarrow dT_h = \frac{dq}{C_h} \quad (2.15)$$

$$dq = C_c \cdot dt_c \rightarrow dt_c = \frac{dq}{C_c} \quad (2.16)$$

Maka,

$$d(\Delta T) = dT_h - dt_c = -dq \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad (2.17)$$

$$d(\Delta T) = -dq \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad (2.18)$$

Substitusi $dq = U \cdot \Delta T \cdot dA$, maka akan diperoleh:

$$d(\Delta T) = -U \cdot \Delta T \cdot dA \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad (2.19)$$

$$\frac{d(\Delta T)}{\Delta T} = -U \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) dA \quad (2.20)$$

Diintegalkan sepanjang alat penukar panas didapatkan:

$$\int_1^2 \left(\frac{d(\Delta T)}{\Delta T} \right) = -U \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \int_1^2 dA \quad (2.21)$$

$$\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right) = -U \cdot A \cdot \left(\frac{1}{C_h} + \frac{1}{C_c} \right) \quad (2.22)$$

Substitusi

$$Ch = \frac{q}{Thi - Tho} \text{ dan } Ch = \frac{q}{Tco - Tci} \quad (2.23)$$

$$\ln \frac{(\Delta T1)}{(\Delta T2)} = -U \cdot A \cdot \left(\frac{Thi - Tho}{q} + \frac{Tco - Tci}{q} \right) \quad (2.24)$$

$$\ln \frac{(\Delta T1)}{(\Delta T2)} = \frac{-U \cdot A}{q} ((Thi - Tho) + (Tco - Tci)) \quad (2.25)$$

Dengan: $\Delta T = Thi - tci$ dan $\Delta T2 = Tho - tco$

Didapatkan,

$$q = U \cdot A \cdot \frac{\Delta T2 - \Delta T1}{\ln(\Delta T2 / \Delta T1)} \quad (2.26)$$

Sehingga,

$$\Delta Tm = \Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T2 - \Delta T1}{\ln \ln \left(\frac{\Delta T2}{\Delta T1} \right)} = \frac{\Delta T1 - \Delta T2}{\ln \ln \left(\frac{\Delta T1}{\Delta T2} \right)} \quad (2.27)$$

Perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin tergantung pada beda suhu rata-rata logaritma (LMTD), luas permukaan perpindahan panas (A), dan *overall heat transfer coefficient* (U). $q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD}$. Persamaan ini hanya berlaku untuk keadaan:

1. Cairan dalam keadaan *steady state* dan kecepatan aliran konstan
2. U dan A konstan
3. Cp konstan walau suhu berubah
4. Panas yang hilang di sekeliling di abaikan
5. Berlaku untuk *co-current* dan *counter current*
6. Tidak berlaku untuk aliran silang
7. Dalam sistem tidak ada perbedaan fase

2.8 Kelebihan dan Kekurangan Aliran *Co-current* dan *Counter-Current*

1. *Co-current*

Kelebihan:

- Biasa dipakai dalam 1 fasa di multifasa *heat exchanger*
- Dapat membatasi suhu maksimal fluida dingin
- Dapat mengubah salah satu fluida dengan cepat

Kekurangan:

- Panas yang dihasilkan lebih kecil dibanding *counter current*
- Jarang dipakai dalam *single pass heat exchanger*
- Tidak mungkin didapat salah satu fluida yang keluar mendekati suhu masuk fluida lain.

2. *Counter-current*

Kelebihan:

- Panas yang dihasilkan cukup besar dibandingkan *co-current*

- Suhu keluar dari salah satu fluida dapat mendekati suhu masuk fluida lain
- Bahan konstruksi lebih awet karena *thermal stress*-nya kecil

Kekurangan:

- Tidak dapat dipakai untuk mengubah suhu fluida dengan cepat
- Kurang efisien jika dipakai untuk menaikkan suhu fluida dingin untuk batas tertentu

BAB III

METODE PRAKTIKUM

3.1 Variabel Percobaan

Variabel tetap :

1. *Flow rate cold fluid*
2. Suhu awal *cold fluid*
3. Jenis aliran *counter-current*

Variabel berubah :

1. Suhu awal *hot fluid*
2. *Flow rate hot fluid*

3.2 Bahan dan Alat

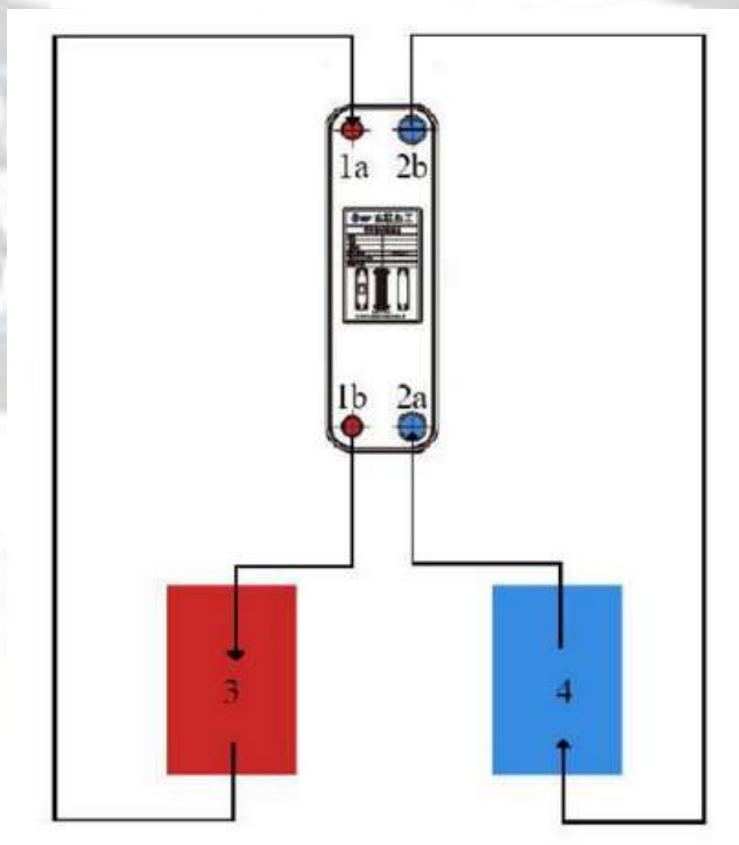
3.2.1 Bahan yang digunakan

1. *Aquadest*

3.2.2 Alat yang digunakan

1. *Brazed plate heat exchanger*
2. Termometer

3.3 Gambar Rangkaian Alat



Gambar 3.2 Rangkaian alat utama aliran *counter-current*

Keterangan gambar:

1. *Hot Fluid*
 - a. *Inlet flow*
 - b. *Outlet flow*
2. *Cold Fluid*
 - a. *Inlet flow*
 - b. *Outlet flow*
3. *Hot Tank*
4. *Cold Tank*

3.4 Respon

1. Perbedaan suhu fluida panas masuk dan keluar
2. Perbedaan suhu fluida dingin masuk dan keluar

3.5 Data yang Dibutuhkan

1. *Flow rate hot fluid*
2. *Flow rate cold fluid*
3. Suhu awal *hot fluid*
4. Suhu awal *cold fluid*
5. Perubahan suhu pada *flowrate* tertentu, baik *hot* atau *cold* fluid tiap 1 menit selama 10 menit (T_{hi} , T_{ho} , T_{ci} , T_{co})
6. Hitung besarnya LMTD, U berdasarkan data di atas lalu buatlah grafik hubungan dengan suhu awal dan *flowrate hot fluid*

3.6 Prosedur Percobaan

1. Nyalakan saklar *heat exchanger*, kemudian nyalakan *power cold* dan *hot fluid*.
2. Nyalakan *thermostat* pada *hot fluid* dan *cold fluid*.
3. Atur suhu sesuai suhu yang ingin dicapai pada *hot tank* melalui *thermostat*
4. Kalibrasi suhu pada *thermostat hot tank* dengan menggunakan termometer.
5. Setelah suhu pada *hot tank* tercapai, nyalakan *hot* dan *cold pump*.
6. Dengan *valve* pengatur *flowrate*, atur aliran *hot* dan *cold fluid* yang masuk sesuai variabel.
7. Setelah *flowrate* sesuai, operasi mulai dijalankan dan catat data perubahan suhu setiap 1 menit selama 10 menit.
8. Variabel yang di variasikan dalam percobaan ini adalah:

a. Suhu awal *hot fluid*:

b. *Flow rate hot fluid*:

9. Bila percobaan telah selesai, matikan kedua pompa, *thermostat*, dan unit refrigerasi.

1 DAFTAR PUSTAKA

- Brown, G. G. (1976). *Unit Operations, Moderns Asia Edition*. John Willey and Sons Inc.
- Holman, J. D. (1997). *Perpindahan Kalor* (Edisi ke-6). Erlangga.
- Kern, D. G. (1980). *Process Heat transfer*. McGraw Hill Book Co. Ltd. Kogakusha.
- Perry, R. H., & Chilson. (1973). *Chemical Engineering Handbook*. (5th ed.). Mc Graw Hill Book.