

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perpindahan Kalor**

Perpindahan kalor adalah ilmu yang mempelajari perpindahan energi karena perbedaan temperatur diantara benda atau material. Apabila dua benda yang berbeda temperatur dikontakkan, maka panas akan mengalir dari benda bertemperatur tinggi ke benda bertemperatur lebih rendah. Disamping itu perpindahan panas juga meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi tertentu. Mekanisme perpindahan panas yang terjadi dibagi menjadi tiga bagian, yaitu:

- a. Perpindahan kalor konduksi
- b. Perpindahan kalor konveksi
- c. Perpindahan kalor radiasi
  - a) Pancaran (Radiasi)

Pancaran (radiasi) ialah perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain. Semua benda memancarkan kalor. Keadaan ini baru terbukti setelah suhu meningkat. Pada proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembus bahan dan terus ke luar. Jadi dalam mempelajari perpindahan kalor radiasi akan dilibatkan suatu fisik permukaan.

Ciri-ciri radiasi yaitu :

Kalor radiasi merambat lurus.

Untuk perambatan itu tidak diperlukan medium (misalnya zat cair atau gas).

b) Hantaran (konduksi)

Hantaran ialah pengangkutan kalor melalui satu jenis zat. Sehingga perpindahan kalor secara hantaran/konduksi merupakan satu proses dalam karena proses perpindahan kalor ini hanya terjadi di dalam bahan. Arah aliran energi kalor, adalah dari titik bersuhu tinggi ke titik bersuhu rendah. Bahan yang dapat menghantar kalor dengan baik dinamakan konduktor. Penghantar yang buruk disebut isolator. Sifat bahan yang digunakan untuk menyatakan bahwa bahan tersebut merupakan suatu isolator atau konduktor ialah koefisien konduksi termal. Apabila nilai koefisien ini tinggi, maka bahan mempunyai kemampuan mengalirkan kalor dengan cepat. Untuk bahan isolator, koefisien ini bernilai kecil. Pada umumnya, bahan yang dapat menghantar arus listrik dengan sempurna (logam) merupakan penghantar yang baik juga untuk kalor dan sebaliknya. Selanjutnya bila diandaikan sebatang besi atau sembarang jenis logam dan salah satu ujungnya diulurkan ke dalam nyala api. Dapat diperhatikan bagaimana kalor dipindahkan dari ujung yang panas ke ujung yang dingin. Apabila ujung batang logam menerima energi kalor dari api, energi ini akan memindahkan sebagian energi kepada molekul dan elektron yang membangun bahan tersebut.

c) Aliran (konveksi)

Yang dimaksud dengan aliran ialah perpindahan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan kesetimbangan termodinamik di

dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. Dalam hal ini terdapat keadaan suhu tidak setimbang diantara bahan dengan sekelilingnya.

Perpindahan kalor dengan jalan aliran dalam industri kimia merupakan cara pengangkutan kalor yang paling banyak dipakai. Oleh karena konveksi hanya dapat terjadi melalui zat yang mengalir, maka bentuk pengangkutan kalor ini hanya terdapat pada zat cair dan gas. Pada pemanasan zat ini terjadi aliran, karena massa yang akan dipanaskan tidak sekaligus dibawa ke suhu yang sama tinggi. Oleh karena itu bagian yang paling banyak atau yang pertama dipanaskan memperoleh massa jenis yang lebih kecil daripada bagian massa yang lebih dingin. Sebagai akibatnya terjadi sirkulasi, sehingga kalor akhirnya tersebar pada seluruh zat.

## **2.2 Alat Penukar Kalor**

Alat penukar kalor (*heat exchanger*) adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas antara dua buah fluida atau lebih yang memiliki perbedaan temperature yaitu fluida yang bertemperatur tinggi kefluida yang bertemperatur rendah. Perpindahan kalor tersebut baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Pada kebanyakan sistem kedua fluida ini tidak mengalami kontak langsung. Kontak langsung alat penukar kalor terjadi sebagai contoh pada gas kalor yang terfluidisasi dalam cairan dingin untuk meningkatkan temperatur cairan atau mendinginkan gas. Alat penukar panas banyak digunakan pada berbagai instalasi industri, antara lain pada : *boiler*, kondensor, *cooler*, *cooling tower*. Sedangkan pada kendaraan kita dapat menjumpai radiator yang fungsinya pada dasarnya adalah sebagai alat penukar panas. Tujuan perpindahan panas tersebut di dalam proses industri diantaranya adalah memanaskan atau mendinginkan

fluida hingga mencapai temperature tertentu yang dapat memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya, seperti pemanasan reaktan atau pendinginan produk dan mengubah keadaan (fase) fluida : destilasi, evaporasi, kondensasi.

### **2.2.1 Jenis penukar kalor berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi**

Berdasarkan proses perpindahan kalor yang terjadi, penukar kalor dapat dibedakan menjadi dua golongan yaitu :

#### **a. Tipe kontak langsung**

Tipe kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara dua zat yang dipertukarkan energinya dicampur atau dikontakkan secara langsung. Contohnya adalah clinker cooler dimana antara clinker yang panas dengan udara pendingin berkontak langsung. Contoh yang lain adalah cooling tower untuk mendinginkan air pendingin kondenser pada instalasi mesin pendingin sentral atau PLTU, dimana antara air hangat yang didinginkan oleh udara sekitar saling berkontak seperti layaknya air mancur. Dengan demikian ciri khas dari penukar kalor seperti ini (kontak langsung) adalah bahwa kedua zat yang dipertukarkan energinya saling berkontak secara langsung (bercampur) dan biasanya kapasitas energi yang dipertukarkan relatif kecil. Contoh-contoh lain adalah desuper-heater tempat mencampur uap panas lanjut dengan air agar temperatur uap turun, pemanas air umpan ketel uap (*boiler*) dengan memanfaatkan uap yang diekstraksi dari turbin uap. Alat yang terakhir ini sering disebut feed water heater.

#### **b. Tipe tidak kontak langsung**

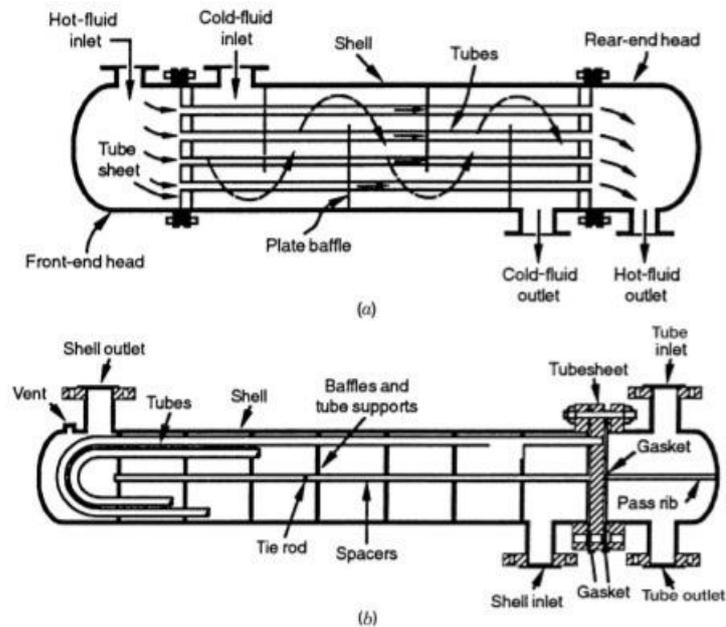
Tipe tidak kontak langsung adalah tipe alat penukar kalor dimana antara kedua zat yang dipertukarkan energinya dipisahkan oleh permukaan bidang padatan seperti dinding pipa, pelat, dan lain sebagainya sehingga antara kedua

zat tidak tercampur. Dengan demikian mekanisme perpindahan kalor dimulai dari zat yang lebih tinggi temperaturnya mula-mula mentransfer energinya ke permukaan pemisah untuk kemudian diteruskan ke zat yang berfungsi sebagai pendingin atau penerima energi. Untuk meningkatkan efektivitas pertukaran energi, biasanya bahan permukaan pemisah dipilih dari bahan-bahan yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi seperti tembaga dan aluminium. Contoh dari penukar kalor seperti ini sering kita jumpai antara lain radiator mobil, evaporator AC, pendingin oli *gearbox* dengan air, dan lain-lain. Dengan bahan pemisah yang memiliki konduktivitas termal yang tinggi diharapkan tahanan termal bahan tersebut akan rendah sehingga seolah-olah antara kedua zat yang saling dipertukarkan energinya seperti kontak langsung. Bedanya dengan yang kontak langsung adalah masalah luas permukaan transfer energi. Pada jenis kontak langsung luas permukaan perpindahan kalor sangat tergantung pada luas kontak antara kedua zat, sedangkan pada tipe tidak kontak langsung luas permukaan sama dengan luas permukaan yang memisahkan kedua zat.

### **2.2.2 Jenis penukar kalor berdasarkan profil konstruksi permukaan**

#### **a. Tipe tabung dan pipa (shell and tube)**

Tipe tabung dan pipa merupakan jenis penukar kalor yang paling banyak digunakan di industri khususnya industri perminyakan. Jenis ini terdiri dari suatu tabung dengan diameter cukup besar yang di dalamnya berisi seberkas pipa dengan diameter relatif kecil seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Salah satu fluida yang dipertukarkan energinya dilewatkan di dalam pipa atau berkas pipa sedang fluida yang lainnya dilewatkan di luar pipa atau di dalam tabung.

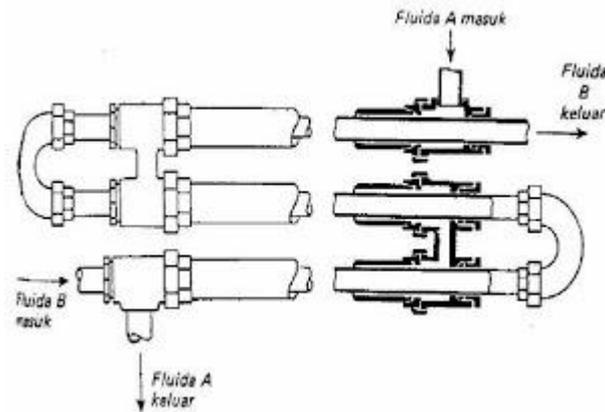


**Gambar 1. Heat Exchanger Shell and Tube**

b. Double pipe heat exchanger (Penukar panas pipa rangkap)

Salah satu jenis penukar panas adalah susunan pipa ganda. Dalam jenis penukar panas dapat digunakan berlawanan arah aliran atau arah aliran, baik dengan cairan panas atau dingin cairan yang terkandung dalam ruang annular dan cairan lainnya dalam pipa.

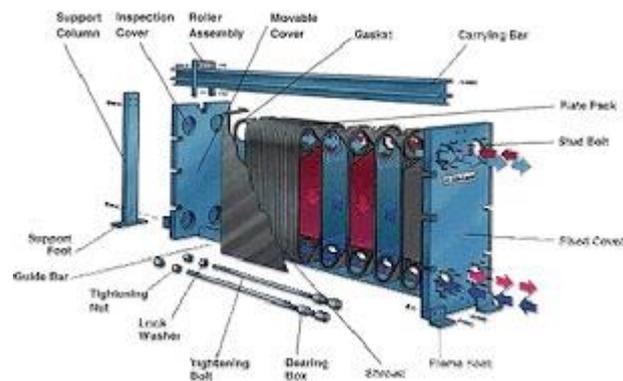
Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standart yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat. Fluida yang satu mengalir di dalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir di dalam ruang anulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis 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. Penukar panas jenis pipa rangkap  
(Double pipe heat exchanger )**

c. Plate and frame heat exchanger ( Penukar Panas Plate and Frame ).

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 3. Penukar kalor tipe pelat (plate heat exchanger)**

### **2.2.3 Jenis penukar kalor berdasarkan susunan aliran fluida.**

Aliran fluida adalah berapa kali fluida mengalir sepanjang penukar kalor sejak saat masuk hingga meninggalkannya serta bagaimana arah aliran relatif antara kedua fluida (apakah sejajar/parallel, berlawanan arah/counter atau bersilangan/cross). Berdasarkan berapa kali fluida melalui penukar kalor dibedakan jenis satu kali laluan atau satu laluan dengan multi atau banyak laluan. Pada jenis satu laluan, masih terbagi ke dalam tiga tipe berdasarkan arah aliran dari fluida yaitu:

#### **a. Penukar kalor tipe aliran berlawanan**

Yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar penukar kalor lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor saat meninggalkan penukar kalor. Bahkan idealnya apabila luas permukaan perpindahan kalor adalah tak berhingga dan tidak terjadi rugi-rugi kalor ke lingkungan, maka temperatur fluida yang menerima kalor saat keluar dari penukar kalor bisa menyamai temperatur fluida yang memberikan kalor saat memasuki penukar kalor. Dengan teori seperti ini jenis penukar kalor berlawanan arah merupakan penukar kalor yang paling efektif.

#### **b. Penukar kalor tipe aliran sejajar**

Yaitu bila arah aliran dari kedua fluida di dalam penukar kalor adalah sejajar. Artinya kedua fluida masuk pada sisi yang satu dan keluar dari sisi yang lain. Pada jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar. Dengan demikian temperatur fluida yang menerima kalor tidak

akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor saat keluar dari penukar kalor. Jenis ini merupakan penukar kalor yang paling tidak efektif.

c. Penukar kalor dengan aliran silang

Artinya arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Contoh yang sering ditemui adalah radiator mobil dimana arah aliran air pendingin yang memberikan energinya ke udara saling bersilangan. Apabila ditinjau dari efektivitas pertukaran energi, penukar kalor jenis ini berada diantara kedua jenis di atas. Dalam kasus radiator mobil, udara melewati radiator dengan temperatur rata-rata yang hampir sama dengan temperatur udara lingkungan kemudian memperoleh kalor dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam.

Sedangkan untuk multi laluan, terbagi ke dalam beberapa tipe sesuai dengan arah aliran kedua fluida yang saling bertukaran energinya, antara lain:

- Tipe gabungan antara aliran berlawanan dan bersilangan, misalnya pada tipe tabung dan pipa.
- Tipe gabungan antara aliran sejajar dan bersilangan,
- Tipe gabungan antara aliran berlawanan, sejajar dan bersilangan,
- Tipe aliran fluida terbagi dan fluida bercampur, misalnya pada kondenser AC.

#### **2.2.4 Jenis penukar kalor berdasarkan mekanisme perpindahan kalor yang dominan**

Berdasarkan mekanisme perpindahan kalor yang dominan, penukar kalor dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis antara lain:

- a. Penukar kalor tipe konveksi satu fasa (konveksi dapat secara alamiah atau paksa),

Mekanisme perpindahan kalor yang terjadi didominasi oleh mekanisme konveksi dan selama proses perpindahan kalor tidak terjadi perubahan fasa pada kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya. Contoh penukar kalor jenis ini adalah radiator mobil, pendingin pelumas dengan air, dan lain-lain.

b. Penukar kalor tipe konveksi dua fasa

Mekanisme konveksi masih dominan namun salah satu dari fluida mengalami perubahan fasa, misalnya evaporator AC, kondenser dari PLTU atau AC, dan lain-lain.

c. Penukar kalor tipe konveksi dan radiasi

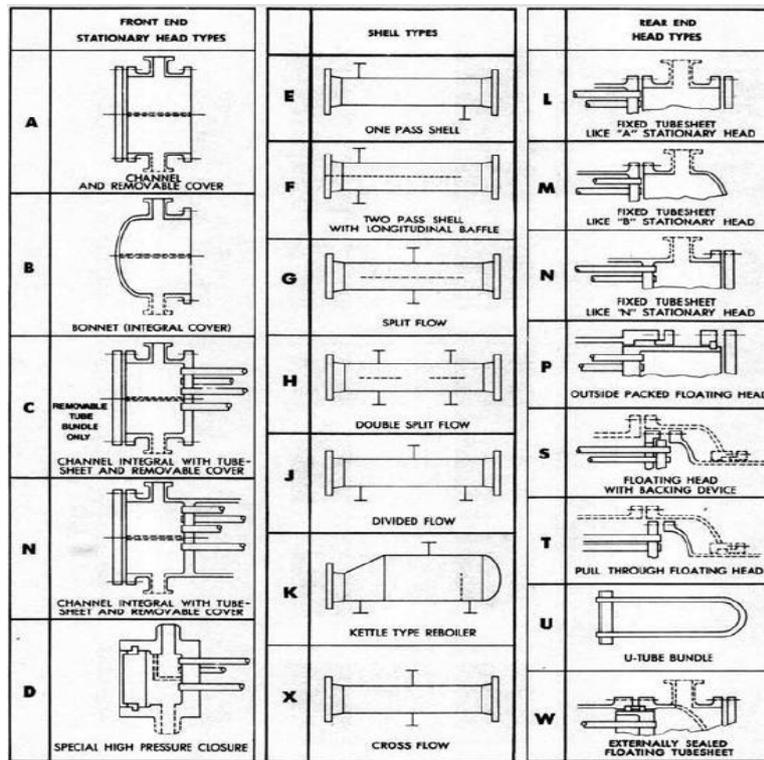
Mekanisme radiasi dan konveksi sama-sama dominan seperti yang terjadi pada generator uap tipe pipa air dimana air yang 13 akan diuapkan mengalir di dalam pipa-pipa sedangkan api atau gas hasil pembakaran yang dipergunakan untuk memanaskan air berada di luar pipa-pipa tersebut.

### **2.3 Komponen - komponen *Heat Exchanger***

Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*. Beberapa komponen dari *heat exchanger* jenis *shell and tube*, yaitu:

a. *Shell*

Konstruksi *shell* sangat ditentukan oleh keadaan *tubes* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat dibuat dari pipa yang berukuran besar atau pelat logam yang dirol. *Shell* merupakan badan dari *heat exchanger*, dimana didapat *tube bundle*. Untuk temperatur yang sangat tinggi kadang-kadang *shell* dibagi dua disambungkan dengan sambungan ekspansi. Bentuk-bentuk *shell* yang lazim digunakan ditunjukkan pada gambar berikut :



**Gambar 4. Jenis shell berdasarkan TEMA**

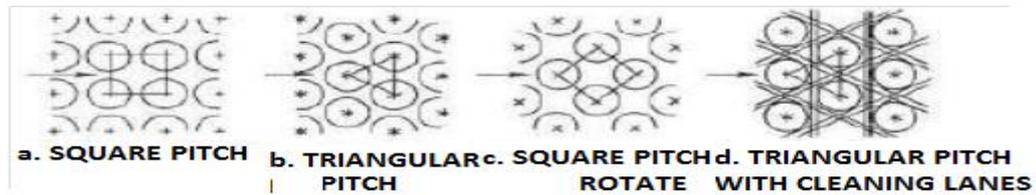
b. *Tube (Pipa)*

Diameter dalam tube merupakan diameter dalam actual dalam ukuran inch dengan toleransi yang sangat cepat. Tube dapat diubah dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Ukuran ketebalan pipa berbeda-beda dan dinyatakan dalam bilangan yang disebut Birmingham Wire Gage (BWG). Ukuran pipa yang secara umum digunakan biasanya mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku, semakin besar bilangan BWG, maka semakin tipis tubenya.

Jenis-jenis tube pitch yang utama adalah :

1. Square pitch
2. Triangular pitch
3. Square pitch rotated

#### 4. Triangular pitch with cleaning lanes (Kern, 1980)



**Gambar 5. Jenis-jenis tube pitch**

#### c. Sekat (*Baffle*)

Adapun fungsi dari pemasangan sekat (*baffle*) pada *heat exchanger* ini antara lain adalah untuk :

- Sebagai penahan dari *tube bundle*.
- Untuk mengurangi atau menambah terjadinya getaran.

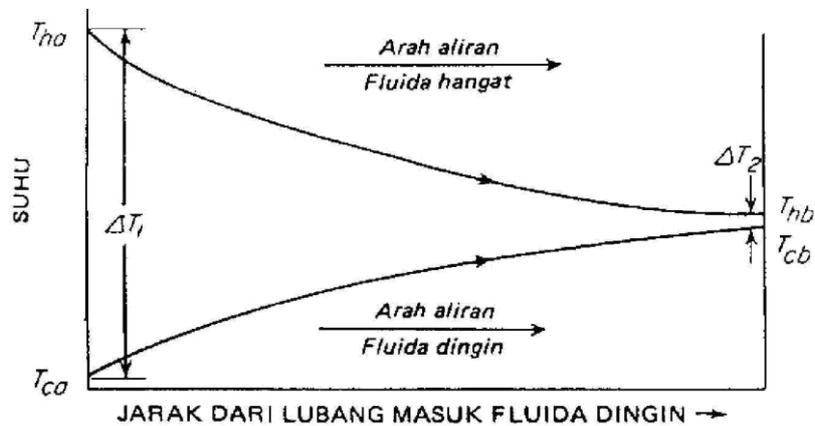
Sebagai alat untuk mengarahkan aliran fluida yang berada di dalam *tube*

## 2.4. Perhitungan Laju Perpindahan Panas Heat Exchanger

### 2.4.1. Pertukaran panas dengan aliran searah (*co current*)

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 :

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



**Gambar 6. Profil temperatur pada aliran *co current***

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 :

$$Q = U \cdot A \cdot T_{LMTD}$$

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

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

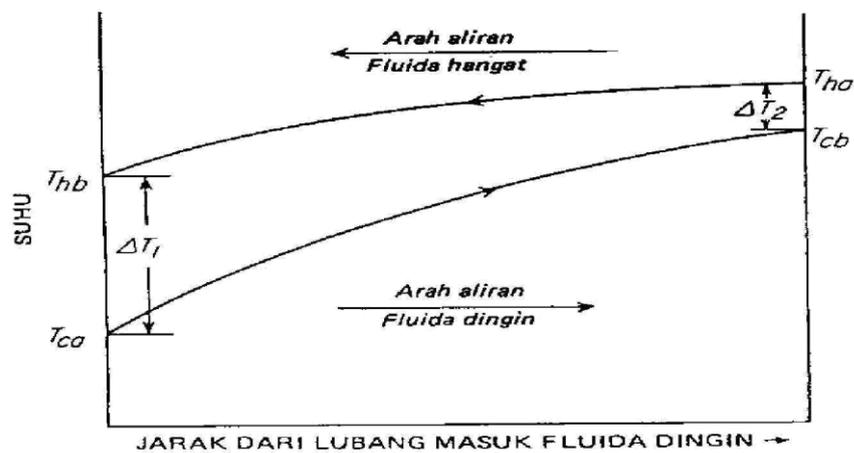
$T_{LMTD} = \frac{T_2 - T_1}{\ln(T_2/T_1)}$  ( log mean temperature diffrensial )

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

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

### 2.4.2 Pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah ( *counter flow* )

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



**Gambar 7. Profil temperatur pada aliran counter current**

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

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

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

## 2.5 Langkah-langkah Perancangan Shell & Tube Heat Exchanger

1. mencari  $Q$  (beban panas) dari neraca panas
2. menentukan  $\Delta t$

$$\Delta t \text{ LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$$

$$\Delta t = \Delta t \text{ LMTD} \times \text{FT}$$

- a. untuk 1-2 exchanger  $\text{FT} > 0,75$ . jika  $\text{FT}$  pada 1-2 Exchanger  $< 0,75$  maka gunakan 2-4 Exchanger.
- b. Untuk 2-4 exchanger  $\text{FT} > 0,9$  untuk removable longitudinal baffle.  $\text{FT} 0,85$  untuk welded longitudinal baffle.
- c.  $\text{FT}$  dihitung karena di dalam tube terjadi perubahan arah aliran. Sebagai contoh untuk 1-2 exchanger, lewatan merupakan gabungan antara aliran searah dan lawan arah. Dengan demikian dalam 1-2 exchanger tersebut jika dihitung LMTD untuk counter current maka harus dihitung faktor koreksi  $\text{FT}$  nya.

3. Assumsikan  $U_D$  sementara dari Tabel 8 Kern, 1965. Lalu hitung area heat transfer  $A$  dengan persamaan :

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot \Delta t}$$

$A > 200 \text{ ft}^2$  gunakan shell & tube

$A < 100 \text{ ft}^2$  gunakan double pipe

Tentukan klasifikasi tube dari Tabel 10 Kern, 1965

$L = 6, 8, 12, 16, 20 \text{ ft}$  (pelatihan pegawai PT. PUSRI) BWG, OD, a"

4. Tentukan jumlah tube

$$Nt = \frac{A}{a'' \cdot L}$$

5. Koreksi  $U_D$

6. Temperatur kalorik

- a. Temperatur rata-rata fluida yang terlibat dalam pertukaran panas
- b. Dihitung untuk fluida dengan viskositas  $> 1 \text{ Cp}$ .

$$T_c = T_2 + F_c(T_1 - T_2)$$

$$t_c = t_1 + F_c(t_2 - t_1)$$

7. menghitung flow area luas penampang yang tegak lurus arah aliran.

a. shell :

$$C' = PT - OD$$

B = maksimum = IDshell (pers. 11.3 Kern, 1965, hal 226) Minimum =  
IDshell/5 (pers. 11.4 Kern, 1965, hal 226)

$$a_s = \frac{ID \times C' \times B}{144 \times P_T}$$

b. tube :

$$a_t = \frac{N_t \times a_{t'}}{11 \times n}$$

8. menghitung mass velocity (G)

shell :

$$G_s = \frac{W}{a_s}$$

tube :

$$G_t = \frac{W}{a_t}$$

9. menghitung bilangan reynold

shell :

De = ..... in (fig. 28, Kern)

$$Re_s = \frac{D_e \times G_s}{\mu}$$

tube :

D = .... in (Tabel 10, Kern)

$$Re_t = \frac{D \times G_t}{\mu}$$

10. menentukan heat transfer factor, JH

shell :

Nilai  $J_H$  untuk shell didapat dari figure 28 Kern

tube :

Nilai  $J_H$  untuk tube didapat dari figure 24 kern

11. menentukan termal function

$$\left(\frac{C.\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}}$$

12. menentukan  $h_i$  &  $h_o$

film koefisien  $h_i$  &  $h_o$  adalah suatu ukuran aliran panas per unit permukaan dan unit perbedaan temperatur yang mengindikasikan laju perpindahan panas.

shell :

$$h_o / \phi_S = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left(\frac{C.\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}}$$

tube :

$$h_o / \phi_t = J_H \times \frac{k}{D_e} \times \left(\frac{C.\mu}{k}\right)^{\frac{1}{3}}$$

13. menentukan  $h_{io}$

$$h_{io} / \phi_t = h_i / \phi_t \times \frac{ID}{OD}$$

14. temperatur dinding  $t_w$

$$t_w = t_c + \frac{\frac{h_o}{\phi_S}}{\frac{h_{io}}{\phi_t} + \frac{h_o}{\phi_S}} \times (T_c - t_w)$$

15. koefisien  $h_i$  dan  $h_{io}$  terkoreksi pada temperatur dinding  $t_w$

Shell :

$$\phi_S = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14}$$

$$h_o = \left(\frac{h_o}{\phi_S}\right) \times \phi_S$$

Tube :

$$\Phi_t = \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$$

$$h_i = \left(\frac{h_i}{\Phi_t}\right) \times \Phi_t$$

$$h_{io} = \left(\frac{h_{io}}{\Phi_t}\right) \times \Phi_t$$

16. U<sub>c</sub> (koefisien perpindahan panas menyeluruh saat bersih)

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

17. R<sub>d</sub>

$$R_d = \frac{U_t - U_D}{U_t \times U_D}$$

18. ΔP

shell :

$$f = \dots\dots \text{ (Fig. 29 Kern, 1965) } N+1 = 12.L/B$$

$$\Delta P_s = \frac{f \times G s^2 \times D s \times (N+1)}{5.22 \cdot 10^{10} \times D \times s \times \Phi_t}$$

Tube :

$$f = \dots\dots\dots$$

$$\Delta P_t = \frac{f \times G t^2 \times L \times n}{5.22 \cdot 10^{10} \times D \times s \times \Phi_t}$$

$$\Delta P_r = \left[ \frac{4n \times v^2}{s \times 2g} \right]$$

$$\Delta P_{tube} = \Delta P_t + \Delta P_r$$