

## BAB II

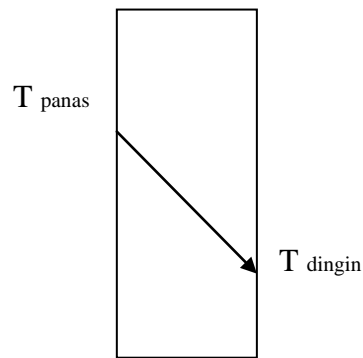
### DASAR TEORI

#### 2.1 Proses Perpindahan Kalor

Perpindahan panas merupakan ilmu untuk meramalkan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material (J.P Holman (1994)). Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Maka ilmu perpindahan panas juga merupakan ilmu untuk meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu. Perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai suatu proses berpindahnya suatu energi (kalor) dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

##### 2.1.1 Perpindahan Kalor secara Konduksi

Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum.



Gambar 2.1 perpindahan panas konduksi pada dinding

Laju perpindahan panas yang terjadi pada perpindahan panas konduksi adalah berbanding dengan gradien suhu normal sesuai dengan persamaan berikut.

Persamaan Dasar Konduksi :

$$q_k = -kA \frac{dt}{dx} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

q = Laju Perpindahan Panas (kJ / det, W)

k = Konduktifitas Termal (W/m.°C)

A = Luas Penampang (m<sup>2</sup>)

dT = Perbedaan Temperatur ( °C, °F )

dX = Perbedaan Jarak ( m / det )

ΔT = Perubahan Suhu ( °C, °F )

dT/dx = gradient temperatur kerah perpindahan kebutalor.

Konstanta positif “k” disebut konduktifitas atau kehantaran termal benda itu, sedangkan tanda minus disisipkan agar memenuhi hukum kedua termodinamika, yaitu bahwa kalor mengalir ke tempat yang lebih rendah dalam skala temperatur.

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang terdapat permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang dikenal dengan hukum Fourier.

Dalam penerapan hukum Fourier (persamaan 2.1 ) pada suatu dinding datar, jika persamaan tersebut di integrasikan maka akan didapatkan :

$$q_k = \frac{kA}{\Delta x} (T_2 - T_1) \dots \dots \dots (2.2)$$

Bila mana konduktivitas termal (thermal conductivity) dianggap tetap. Tebal dinding adalah  $\Delta x$ , sedangkan  $T_1$  dan  $T_2$  adalah temperatur muka dinding. Jika konduktivitas berubah menurut hubungan linear dengan temperatur, seperti  $k = k_0(1 + \beta T)$ , maka persamaan aliran kalor menjadi :

$$q_k = - \frac{k_0 A}{\Delta x} + \left[ T_2 - T_1 + \frac{\beta}{2} (T_2^2 + T_1^2) \right] \dots \dots \dots (2.3)$$

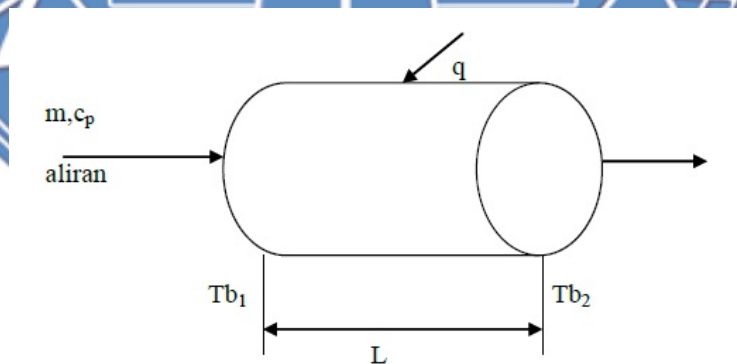
Perpindahan panas secara konduksi ini juga merupakan perpindahan panas antara molekul-molekul yang saling berdekatan antar yang satu dengan yang lainnya dan tidak diikuti oleh perpindahan molekul-molekul tersebut secara fisik. Molekul-molekul benda yang panas bergetar lebih cepat dibandingkan molekul-molekul benda yang berada dalam keadaan dingin. Getaran-getaran yang cepat ini, energinya dilimpahkan kepada molekul di sekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat maka akan memberikan panas.

Hubungan dasar aliran panas melalui konduksi adalah perbandingan antara laju aliran panas yang melintas permukaan isothermal dan gradient yang

terdapat pada permukaan tersebut berlaku pada setiap titik dalam suatu benda dalam setiap titik dalam suatu benda pada setiap waktu yang di kenal dengan hukum fourier.

### 2.1.2 Perpindahan Kalor secara Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/aliran/pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Contohnya adalah kehilangan panas dari radiator mobil, pendinginan dari secangkir kopi dll. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, misalkan dengan pompa atau kipas yang menggerakkan fluida sehingga fluida mengalir di atas permukaan, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*).



Gambar 2.2. Proses Perpindahan Panas

Proses pemanasan atau pendinginan fluida yang mengalir didalam saluran tertutup seperti pada gambar 2.2 merupakan contoh proses perpindahan

panas. Laju perpindahan panas pada beda suhu tertentu dapat di hitung dengan persamaan.

$$q = -hA(T_w - T_\infty) \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

$q$  = Laju perpindahan panas ( kj/det atau W )

$h$  = Koefisien perpindahan panas konveksi ( W/ m<sup>2</sup>. °C )

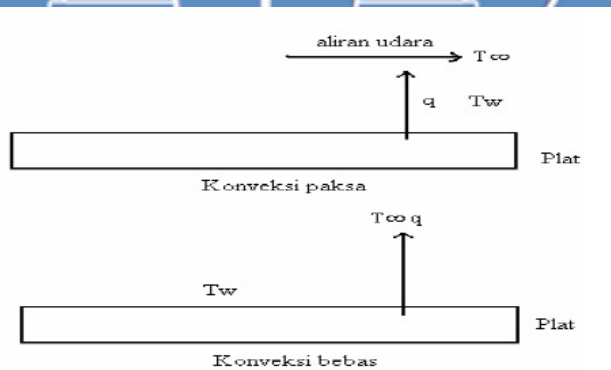
$A$  = Luas bidang permukaan perpindahan panas ( ft<sup>2</sup>. m<sup>2</sup> )

$T_w$  = Temperatur dingin ( °C, K )

$T_\infty$  = Temperatur Sekeliling ( °C, K )

Tanda minus ( - ) digunakan untuk memenuhi hukum II thermodinamika, sedangkan panas yang di pindahkan selalu mempunyai tanda positif ( + ).

Persamaan (2.4) mendefinisikan tahanan panas terhadap konveksi. Koefisien pindah panas permukaan  $h$ , bukannya suatu sifat zat, akan tetapi menyatakan besarnya laju pindah panas didaerah dekat pada permukaan itu.

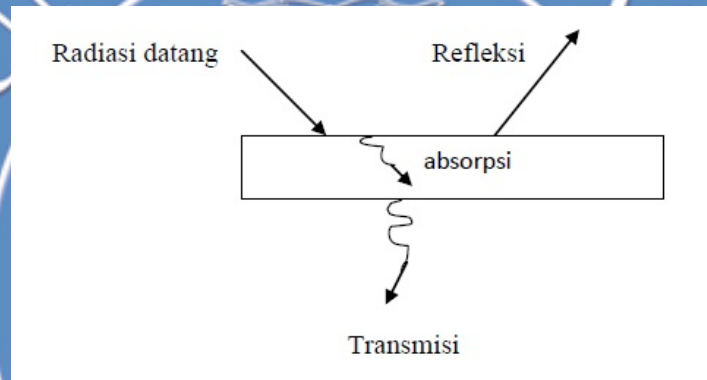


Gambar 2.3 Perpindahan Panas Konveksi

Perpindahan konveksi paksa pada dalam kenyataanya sering dijumpai, karena dapat meningkatkan efisiensi pemanasan maupun pendinginan satu fluida dengan fluida yang lain.

### 2.1.3 Perpindahan Kalor Secara Radiasi

Radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda yang bersuhu tinggi ke benda yang bersuhu rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut.



Gambar 2.4 Perpindahan panas radiasi

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena temperatur, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi menimpah suatu bahan, maka sebagian radiasi dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian diteruskan seperti gambar 2.3 sedangkan besarnya energi :

$$Q_{pancaran} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :  $Q_{pancaran}$  = laju perpindahan panas ( W )

$\sigma$  = konstanta boltzman (  $5,669.10^{-8}W/m^2k^4$  )

A = luas permukaan benda ( $m^2$ )

T = suhu absolut benda ( $^{\circ}C$ )

## 2.2 Alat Penukar Kalor ( Heat Exchanger)

Alat penukar panas (*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 Tunggul Sitompul ( 1993 ). Perpindahan panas 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 air panas.



Gambar 2.5 Sistem Kerja Alat Penukar Kalor

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 :

- a) Memanaskan atau mendinginkan fluida hingga mencapai temperature tertentu yang dapat memenuhi persyaratan untuk proses selanjutnya, seperti pemanasan reaktan atau pendinginan produk dan lain-lain.
- b) Mengubah keadaan (fase) fluida : destilasi, evaporasi, kondensasi dan lain-lain.

Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung. Maksudnya adalah :

- 1) Pada alat penukar kalor yang langsung, fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu. 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.
- 2) Pada alat penukar kalor yang tidak langsung, fluida panas tidak berhubungan langsung dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panas itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya. 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.

Pertukaran panas secara tidak langsung terdapat dalam beberapa tipe dari penukar kalor diantaranya tipe shell and tube, plat, spiral dll. Pada kebanyakan kasus penukar kalor tipe shell and tube mempunyai efektivitas perpindahan panas yang lebih bagus.

### 2.2.1 Jenis-jenis Alat Penukar Kalor

Seperti yang telah dikemukakan dalam pendahuluan terdapat banyak sekali jenis-jenis alat penukar kalor. Maka untuk mencegah timbulnya kesalahpahaman maka alat penukar kalor dikelompokkan berdasarkan fungsinya;

- a) *Chiller*, alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan fluida sampai pada temperature yang rendah. Temperature fluida hasil pendinginan didalam chiller yang lebih rendah bila dibandingkan dengan fluida pendinginan yang dilakukan dengan pendingin air. Untuk chiller ini media pendingin biasanya digunakan amoniak atau Freon.
- b) Kondensor, alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan uap atau campuran uap, sehingga berubah fasa menjadi cairan. Media pendingin yang dipakai biasanya air atau udara. Uap atau campuran uap akan melepaskan panas atent kepada pendingin, misalnya pada pembangkit listrik tenaga uap yang mempergunakan condensing turbin, maka uap bekas dari turbin akan dimasukkan kedalam kondensor, lalu diembunkan menjadi kondensat.

- c) *Cooler*, alat penukar kalor ini digunakan untuk mendinginkan cairan atau gas dengan mempergunakan air sebagai media pendingin. Disini tidak terjadi perubahan fasa, dengan perkembangan teknologi dewasa ini maka pendingin cooler mempergunakan media pendingin berupa udara dengan bantuan fan (kipas).
- d) Evaporator, alat penukar kalor ini digunakan untuk penguapan cairan menjadi uap. Dimana pada alat ini menjadi proses evaporasi (penguapan) suatu zat dari fasa cair menjadi uap. Yang dimanfaatkan alat ini adalah panas latent dan zat yang digunakan adalah air atau refrigerant cair.
- e) *Reboiler*, alat penukar kalor ini berfungsi mendidihkan kembali (reboil) serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Adapun media pemanas yang sering digunakan adalah uap atau zat panas yang sedang diproses itu sendiri. Hal ini dapat dilihat pada penyulingan minyak pada gambar 2.2, diperlihatkan sebuah reboiler dengan mempergunakan minyak (665 0F) sebagai media penguap, minyak tersebut akan keluar dari boiler dan mengalir didalam tube.
- f) *Heat Exchanger*, alat penukar kalor ini bertujuan untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida yang lain. Maka akan terjadi dua fungsi sekaligus, yaitu:
- 1) Memanaskan fluida
  - 2) Mendinginkan fluida yang panas

### 2.2.2 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

Melihat begitu banyaknya jenis alat penukar kalor (*heat exchanger*), maka dapat diklasifikasikan berdasarkan bermacam-macam pertimbangan yaitu :

1. Klasifikasi berdasarkan proses perpindahan panas
  - a. kontak tidak langsung
    - 1) Tipe dari satu fase
    - 2) Tipe dari banyak fase
    - 3) Tipe yang ditimbun (storage type )
    - 4) Tipe fluidized bed
  - b. Tipe kontak langsung
    - 1) Immiscible fluids
    - 2) Gas liquid
    - 3) Liquid vapor
2. Klasifikasi berdasarkan jumlah fluida yang mengalir
  - a. Dua jenis
  - b. Tiga jenis fluida
  - c. N- Jenis fluida (N lebih dari tiga)
3. Klasifikasi berdasarkan kompaknya permukaan
  - a. Tipe penukar kalor yang kompak, Density luas permukaan  $> 700 \text{ m}^2$
  - b. Tipe penukar kalor yang tidak kompak, Density luas permukaan  $< 700 \text{ m}^2$
4. Klasifikasi berdasarkan mekanisme perpindahan panas
  - a) Dengan cara konveksi, satu fase pada kedua sisi alirannya
  - b) Dengan cara konveksi pada satu sisi aliran dan pada sisi yang lainnya terdapat cara konveksi 2 aliran
  - c) Dengan cara konveksi pada kedua sisi alirannya serta terdapat 2 pass aliran masing-masing

d) Kombinasi cara konveksi dan radiasi

5. Klasifikasi berdasarkan konstruksi

a) Konstruksi tubular ( shell and tube)

1. Tube ganda (double tube)

2. Konstruksi shell and tube

a. Sekat plat (plate baffle)

b. Sekat batang (rod baffle)

c. Konstruksi tube spiral

b) Konstruksi tipe pelat

1) Tipe pelat 3) Tipe lamella

2) Tipe spiral 4) Tipe pelat koil

c) Konstruksi dengan luas permukaan diperluas (extended surface )

1) Sirip pelat ( plate fin)

2) Sirip tube (tube fin)

a. Heat pipe wall

b. Ordinary separating wall

d) Regenerative

1) Tipe rotary 3) Tipe disk (piringan)

2) Tipe drum 4) Tipe matrik tetap

6. Klasifikasi berdasarkan pengaturan aliran

a) Aliran dengan satu pass

1) Aliran berlawanan

4) Aliran parallel

2) Aliran melintang

5) Aliran split

3) Aliran yang dibagi (divided )

b) Aliran multi pass

- 1) Permukaan yang diperbesar (extended surface)
- 1) Aliran counter menyilang
- 2) Aliran paralel menyilang
- 3) Aliran compound

c) *Shell and tube*

- 1) Aliran paralel yang berlawanan (M pass pada shell dan N pass pada tube)
- 2) Aliran split
- 3) Aliran dibagi (devided )
- 4) Multipass plat
- 5) N- paralel plat multipass

### 2.3 Heat Exchanger Tipe Shell And Tube

Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah shell (tabung/slinder besar) dimana didalamnya terdapat suatu bundle pipa dengan diameter yang relative kecil Amalia, Ilma (2011). Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir dibagian luar pipa tetapi masih didalam *shell*.

Alat penukar panas cangkang dan buluh terdiri atas suatu bundle pipa yang dihubungkan secara parallel dan ditempatkan dalam sebuah pipa mantel (cangkang ). Fluida yang satu mengalir di dalam bundle 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.

Ada beberapa fitur desain termal yang akan diperhitungkan saat merancang tabung di shell dan penukar panas tabung. Ini termasuk:

- a) Diameter pipa : Menggunakan tabung kecil berdiameter membuat penukar panas baik ekonomis dan kompak. Namun, lebih mungkin untuk heat exchanger untuk mengacau-balaukan lebih cepat dan ukuran kecil membuat mekanik membersihkan fouling yang sulit. Untuk menang atas masalah fouling dan pembersihan, diameter tabung yang lebih besar dapat digunakan. Jadi untuk menentukan diameter tabung, ruang yang tersedia, biaya dan sifat fouling dari cairan harus dipertimbangkan.
- b) Ketebalan tabung: Ketebalan dinding tabung biasanya ditentukan untuk memastikan:
  1. Ada ruang yang cukup untuk korosi
  2. Getaran aliran-diinduksi memiliki ketahanan Axial kekuatan
  3. Kemampuan untuk dengan mudah stok suku cadang biaya
  4. Kadang-kadang ketebalan dinding ditentukan oleh perbedaan tekanan maksimum di dinding.
- c) Panjang tabung : penukar panas biasanya lebih murah ketika mereka memiliki diameter *shell* yang lebih kecil dan panjang tabung panjang. Dengan demikian, biasanya ada tujuan untuk membuat penukar panas

selama mungkin. Namun, ada banyak keterbatasan untuk ini, termasuk ruang yang tersedia di situs mana akan digunakan dan kebutuhan untuk memastikan bahwa ada tabung tersedia dalam panjang yang dua kali panjang yang dibutuhkan (sehingga tabung dapat ditarik dan diganti). Juga, itu harus diingat bahwa tunggal, tabung tipis yang sulit untuk mengambil dan mengganti.

- d) Tabung pitch : ketika mendesain tabung, adalah praktis untuk memastikan bahwa tabung pitch (yaitu jarak pusat-pusat tabung sebelah) tidak kurang dari 1,25 kali diameter luar tabung.

*Shell and tube* penukar panas terdiri dari serangkaian tabung. Satu set dari tabung berisi cairan yang harus baik dipanaskan atau didinginkan. Cairan kedua berjalan lebih dari tabung yang sedang dipanaskan atau didinginkan sehingga dapat menyediakan panas atau menyerap panas yang dibutuhkan. Satu set tabung disebut berkas tabung dan dapat terdiri dari beberapa jenis tabung: polos, bersirip longitudinal dll. *Shell* dan penukar panas tabung biasanya digunakan untuk aplikasi tekanan tinggi (dengan tekanan lebih besar dari 30 bar) dan suhu lebih besar dari 260 ° C. Hal ini karena shell dan penukar panas tabung yang kuat karena bentuknya.

### **2.3.1 Pemilihan Material Tabung**

Agar dapat memindahkan panas dengan baik, material tabung harus mempunyai thermal conductivity Amalia, Ilma (2001). Karena panas ditransfer dari suatu sisi yang panas menuju sisi yang dingin melalui tabung, terdapat perbedaan temperature sepanjang lebar tabung. Karena ada kecenderungan material tabung untuk mengembang berbeda-beda secara thermal pada berbagai

temperaturethermal stresses muncul selama operasi. Hal ini sesuai terhadap tegangan dari tekanan tinggi dari fluida itu sendiri.

Material tabung juga harus sesuai dengan kedua hal yaitu sisi shell dan sisi tube yang dialiri untuk periode lama dibawah kondisi-kondisi operasi (temperature, tekanan, pH, dan lain-lain) untuk memperkecil hal yang buruk seperti korosi. Semua yang dibutuhkan yaitu melakukan pemilihan seksama atas bahan yang kuat, thermalconductive, corrosion resistant, material tabung bermutu tinggi, yang secara khas berbahan metal. Pilihan material tabung yang buruk bisa mengakibatkan suatu kebocoran melalui suatu tabung antara sisi shell dan tube yang menyebabkan fluida yang lewat terkontaminasi dan kemungkinan hilangnya tekanan. Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan aliran fluida dalam shell side dan Tube side untuk *shell and tube exchanger* Djunaidi (2009) adalah :

- a) Kemampuan untuk dibersihkan (Cleanability) Jika dibandingkan cara membersihkan Tube dan Shell, maka pembersihan sisi shell jauh lebih sulit. Untuk itu fluida yang bersih biasanya dialirkan di sebelah shell dan fluida yang kotor melalui Tube.
- b) Korosi Masalah korosi atau kebersihan sangat dipengaruhi oleh penggunaan dari paduan logam. Paduan logam tersebut mahal, oleh karena itu fluida dialirkan melalui Tube untuk menghemat biaya yang terjadi karena kerusakan shell. Jika terjadi kebocoran pada Tube, heat exchanger masih dapat difungsikan kembali. Hal ini disebabkan karena *Tube* mempunyai ketahanan terhadap korosif, relatif murah dan kekuatan dari small diameter *Tube* melebihi *Shell*.



- c) Tekanan *Shell* yang bertekanan tinggi dan diameter yang besar akan diperlukan dinding yang tebal, hal ini akan memakan biaya yang mahal. Untuk mengatasi hal itu apabila fluida bertekanan tinggi lebih baik dialirkan melalui *Tube*.
- d) Temperatur Biasanya lebih ekonomis meletakkan fluida dengan temperatur lebih tinggi pada *Tube side*, karena panasnya ditransfer seluruhnya ke arah permukaan luar *Tube* atau ke arah *Shell* sehingga akan diserap sepenuhnya oleh fluida yang mengalir di *Shell*. Jika fluida dengan temperatur lebih tinggi dialirkan pada *shell side*, maka transfer panas tidak hanya dilakukan ke arah *Tube*, tapi ada kemungkinan transfer panas juga terjadi ke arah luar *shell* (ke lingkungan).
- e) Sediment/ Suspended Solid / Fouling Fluida yang mengandung sediment/suspended solid atau yang menyebabkan fouling sebaiknya dialirkan di *Tube* sehingga *Tube-Tube* dengan mudah dibersihkan. Jika fluida yang mengandung sediment dialirkan di *shell*, maka sediment/fouling tersebut akan terakumulasi pada stagnant zone di sekitar baffles, sehingga cleaning pada sisi *shell* menjadi tidak mungkin dilakukan tanpa mencabut *Tube bundle*.
- f) Viskositas Fluida yang *viscous* atau yang mempunyai low transfer rate dilewatkan melalui *shell* karena dapat menggunakan baffle. Koefisien heat transfer yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan menempatkan fluida yang lebih *viscous* pada *shell side* sebagai hasil dari peningkatan turbulensi akibat aliran crossflow (terutama karena pengaruh baffles). Biasanya fluida dengan viskositas  $> 2$  cSt dialirkan di *shell side* untuk

mengurangi luas permukaan perpindahan panas yang diminta. Koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi terdapat pada shell side, karena aliran turbulen akan terjadi melintang melalui sisi luar Tube dan baffle.

#### 2.4 Faktor yang Mempengaruhi Efektivitas Alat Penukar Kalor

Ada beberapa faktor mempengaruhi efektivitas yang telah di teliti sebagai berikut :

1. Handoyo Ekadewi Anggraini (2000) melakukan penelitian penggunaan *baffle* dapat meningkatkan efektivitas alat penukar kalor, hal ini sejalan dengan peningkatan koefisien perpindahan kalor.
2. Handoyo Ekadewi Anggraini (2000) melakukan penelitian pengaruh tebal isolasi pada bagian luar *shell*, efektivitas meningkat hingga suatu harga maksimum dan kemudian berkurang.
3. Wahjudi Didik (2000) menyimpulkan dalam penelitiannya dengan menggunakan alat penukar kalor tabung konsentris, efektivitas berkurang, jika kecepatan masuk udara dingin meningkat dan efektivitas meningkat, jika kecepatan udara panas meningkat.
4. Mukherjee (1998) menganjurkan jarak antara *baffle* minimum 0,2 dari diameter dalam *shell* sedangkan jarak maksimum ialah 1x diameter bagian dalam *shell*. Jarak *baffle* yang panjang akan menyebabkan aliran membujur dan kurang efisien dari pada aliran melintang.
5. Menurut Cengel (1987) hampir pada semua alat penukar kalor perpindahan kalornya di dominasi oleh konveksi dan konduksi dari fluida panas ke fluida dingin, dimana keduanya dipisahkan oleh dinding

perpindahan kalor secara konveksi dan dipengaruhi oleh bentuk geometri alat penukar kalor dan tiga bilangan tak berdimensi yaitu bilangan Reynold numbers, bilangan Nusselt dan bilangan Prandtl. Besar bilangan tak berdimensi tersebut tergantung pada aliran serta properti fluida tersebut.

Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam peningkatan perpindahan kalor antara lain memperbesar permukaan, menimbulkan aliran pusaran Bergles (1985) dan Sunder (1997) mengatakan bahwa suatu gas ke cair alat penukar kalor, luasan untuk gas harus lebih besar dari cairan karena koefisien perpindahan kalor konveksi gas lebih kecil dari yang cair. Hal serupa dapat menjadi alasan kenapa efektivitas lebih tinggi saat udara panas mengalir di sisi *Tube* dan udara dingin mengalir di sisi *Shell*.

## **2.5 Komponen-Komponen Alat Penukar Kalor**

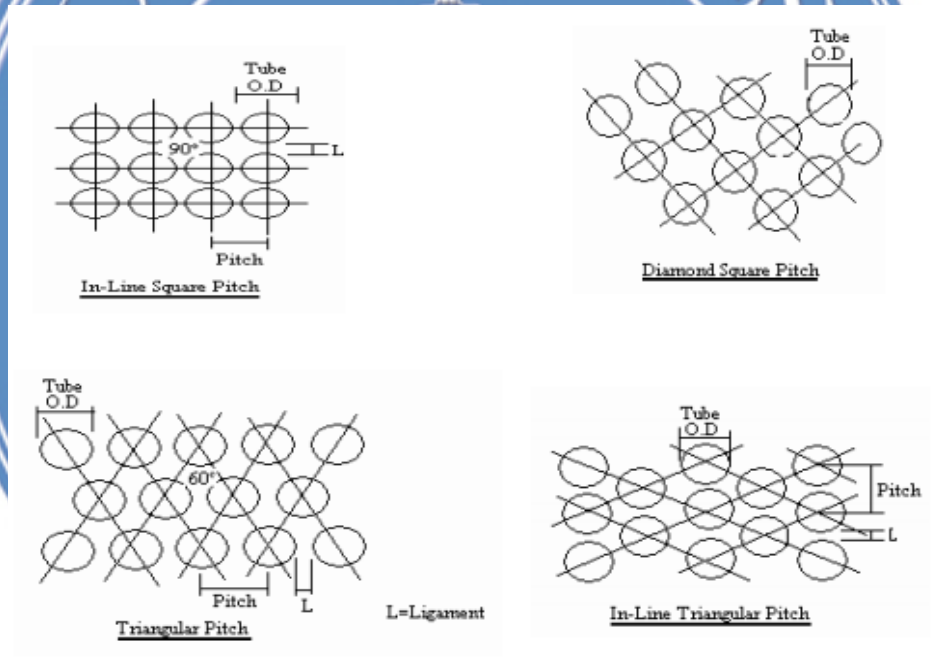
Dalam penguraian-penguraian komponen-komponen alat penukar kalor jenis *Shell and Tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi alat penukar kalor. Untuk lebih jelasnya disini akan dibahas beberapa komponen dari alat penukar kalor jenis *Shell and Tube*.

### **2.5.1 Shell**

Konstruksi *Shell* sangat ditentukan oleh kapasitas dan keadaan *Tube* yang akan ditempatkan didalamnya. *Shell* ini dapat di buat dari pipa yang berukuran besar atau pelat baja yang di rol. *Shell* merupakan badan dari alat penukar kalor dimana terdapat *Tube bundle* J.P Holman (1994). Untuk temperature kerja yang tinggi kadang-kadang *Shell* dibagi dua sambungan dengan sambungan ekspansi.

## 2.5.2 Tube

Tube merupakan bidang pemisah antara dua fluida yang mengalir, dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas J.P Holman (1994). Pada umumnya flou fluida yang mengalir didalam *Tube* lebih kecil dibandingkan dengan flou fluida yang mengalir di dalam *Shell*. ketebalan dan material *Tube* harus di pilih berdasarkan tekanan operasi dan jenis fluidanya. Agar tidak mudah bocor dan korosi akibat aliran fluida yang mengalir di dalam *Tube*. Adapun tipe susunan *Tube* dapat di lihat gambar berikut ini.



Gambar 2.6 Tipe Susunan Tube Alat Penukar Kalor

Susunan *Tube* segitiga sangat populer dan sangat baik dipakai melayani fluida kotor/berlumpur atau yang bersih. Pembersihan tube dilakukan dengan cara kimia (*chemicalcleansing*). Koefisien perpindahan panasnya lebih baik dibandingkan susunan pipa bujur (*in-line square pitch*). Susunan tube segitiga banyak dipergunakan dan menghasilkan perpindahan panas yang baik persatu-

satuan penurunan tekanan (per unit pressure drop), disamping itu letaknya lebih kompak.

Susunan tube bujur sangkar membentuk 900 (*in-line squer pitch*) banyak di penggunaan, dengan pertimbangan seperti berikut :

- a. Apabila penurunan tekanan (*pressure drop*) yang terjadi pada alat penukar kalor itu sangat kecil.
- b. Apabila pembersihan yang dilakukan pada bagian luar tube adalah dengan cara pembersihan mekanik (*mechanical cleansing*). Sebab pada susunan seperti ini terdapat cela antara tube yang dipergunakan untuk pembersihannya.
- c. Susunan ini memberikan perilaku yang baik, bila terjadi aliran *turbulen*, tetapi untuk aliran laminar akan memberikan hasil yang kurang baik.

Susunan *tube* yang membentuk  $45^\circ$  atau susunan belah ketupat (*diamond square pitch*) baik dipergunakan pada kondisi operasi yang penurunan tekanan kecil, tetapi lebih besar dari penurunan tekanan jenis bujur sangkar. Selain itu susunan *tube* ini relatif lebih baik dibanding susunan *tube* yang membentuk 300 terhadap aliran.

### 2.5.3 Baffle

*Baffle* atau sekat-sekat yang dipasang pada alat penukar kalor mempunyai beberapa fungsi, yaitu :

- a. Struktur untuk menahan *tube bundle*
- b. *Damper* untuk menahan atau mencegah terjadinya getaran pada *tube*

- c. Sebagai alat untuk mengontrol dan mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar *tube (shell side)*

Ditinjau dari segi konstruksi, sekat itu dapat diklasifikasikan dalam 4 kelompok yaitu :

- a. Sekat pelat berbentuk *segment (segmental baffle palate)*
- b. Sekat batang (*rod baffle*)
- c. Sekat mendatar atau *longitudinal baffle*
- d. Sekat *impingement (impingement baffle)*

## 2.6 Rumus Awal yang Digunakan dalam Penelitian Alat Penukar Kalor

### 2.6.1 Besar Kalor yang diserap Fluida Dingin

$$Q_{air\ dingin} = m_{air\ dingin} \cdot C_{p\ air\ dingin} \cdot (t_2 - t_1) \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :  $Q_{air\ dingin}$  = Kalor yang diserap fluida dingin (Kw)

$m_{air\ dingin}$  = Aliran massa air fluida dingin ( Kg/s)

$C_{p\ air\ dingin}$  = Panas jenis air ( kJ/kg.k)

$t_1$  = Temperatur air masuk ( K)

$t_2$  = Temperatur air keluar ( K)

### 2.6.2 Besar kalor yang dilepaskan fluida panas

$$Q_{air\ panas} = m_{air\ panas} \cdot C_{p\ air\ panas} \cdot (th_1 - th_2) \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :  $Q_{air\ panas}$  = Kalor yang dilepaskan fluida panas (Kw)

$m_{air\ panas}$  = Aliran massa fluida panas ( kg/s)

$C_{p_{air\ panas}}$  = jenis fluida panas (Kg/s)

$th_1$  = Temperatur panas masuk ( K)

$th_2$  = Temperatur panas keluar ( K)

### 2.6.3 Perpindahan panas menggunakan metode LMTD

$$Q = U \cdot A \cdot F \cdot LMTD \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :  $Q$  = perpindahan kalor secara pindahan panas ( Kw)

$U$  = Koefisien perpindahan panas menyeluruh ( kW/m.K)

$F$  = Faktor koreksi

LMTD = *Log Mean Temperatur Deference* ( K)

$$LMTD = \frac{(Th_1 - T_2) - (Th_2 - T_1)}{\ln \frac{(Th_1 - T_2)}{(Th_2 - T_1)}} \dots \dots \dots (2.9)$$

### 2.6.4 Koefisien Perpindahan panas menyeluruh

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{out}} + \frac{1}{2 \cdot k_p \cdot \ln \frac{D_{po}}{D_{pi}}} + \frac{1}{h_{in} \cdot D_{pi}}} \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :  $h_{in}$  = Koefisien perpindahan panas didalam pipa ( Kw/m<sup>2</sup>.k)

$h_{out}$  = Koefisien perpindahan panas diluar pipa ( Kw/m<sup>2</sup>.k)

$K_p$  = Konduktivitas termal pipa ( kw/m.K)

$D_{p,i}$  = Diameter dalam pipa ( m)

$D_{p,out}$  = Diameter luar pipa (m)

### 2.6.5 Luas perpindahan panas

$$A = \frac{Q}{U \cdot F \cdot LMTD} \dots\dots\dots(2.11)$$

Dimana : A = Luas perpindahan panas (  $m^2$ )

### 2.7 Mencari jarak sekat Baffel, Lb

Untuk mencari jarak sekat baffel ditentukan oleh batas range 0,4- 0,6 sampai diameter Shell , dalam penelitian ini digunakan yaitu sbb ;

$$L_b = 0,4 \times D_s \dots\dots\dots(2.12)$$

#### 2.7.1 Mencari koefisien perpindahan panas didalam pipa , $h_{in}$

a) Bilangan Reynold

$$Re_{air\ panas} = \frac{4 \cdot m_1}{\pi \cdot D_{pi} \cdot \mu} \dots\dots\dots(2.13)$$

Dimana :  $Re_{air\ panas}$  = bilangan Reynold didalam pipa

$$m_1 = m_{air\ panas} / N_t$$

b) Diameter didalam pipa

$$D_{pi} = D_{out} - 2 \times t \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana : t = tebal pipa (tube)

c) Bilangan Nusselt turbulen

$$Nu = C \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,3} \dots\dots\dots(2.15)$$

Dimana ,C untuk ketentuan aliran



0,023 = untuk cairan tidak viscos

0,027 = Untuk cairan tidak viscos

Sumber : JP.HOLMAN(1994), *Perpindahan kalor*

Maka untuk menentukan koefisien perpindahan panas pada pipa dapat digunakan persamaan berikut :

$$h_{in} = \frac{Nu_{air\ panas} \cdot k_{air\ panas}}{D_{pi}} \dots\dots\dots(2.16)$$

untuk Konduktivitas termal  $k_{air\ panas}$  dapat dicari melalui tabel ineterpolasi(A-9) dari buku pengarang J.P Holman (1994).

### 2.7.2 Mencari Koefisien perpindahan panas didalam Shell

Untuk Menghitung Koefisien perpindahan Panas didalam shell dibutuhkan Perhitungan Luas aliran silang Tegak lurus (  $A_s$  ) Untuk Jajaran Pipa pada Sumbu *Shell* , Yaitu :

$$A_s = \frac{(P_t - D_{po}) \cdot D_s \cdot L_b}{P_t} \dots\dots\dots(2.17)$$

Dimana :  $P_t$  = tube pitch ; jarak antara dua pusat pipa (m)

$D_s$  = Diameter Shell (m)

$L_b$  = Jarak baffel (m)

$A_s$  = Luas transisi sisi shell ( $m^2$ )

a) Menghitung Kecepatan massa  $G_s$  di sisi shell

$$G_s = \frac{m_{air\ dingin}}{A_s} \dots\dots\dots(2.18)$$

b) Menhitung Diameter ekivalen susunan Segitiga

$$D_e = \frac{4(\frac{pt}{2} \times 0,87 \cdot pt - 0,5 \pi \frac{Dpo^2}{4})}{\pi \cdot \frac{D,pi}{2}} \dots\dots\dots(2.19)$$

c) Bilangan Reynold di sisi shell

$$Re_{air\ dingin} = \frac{G_s \cdot D_e}{\mu_{air\ dingin}} \dots\dots\dots(2.20)$$

### 2.7.3 Mencari Efektivitas penukar kalor

Dapat dicari dengan persamaan sbb :

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana :

$$Q_{max} = c_{min} (Th_1 - T_1) \dots\dots\dots(2.22)$$

Kapasitas minimum dipilih dari

$$c_c = m_{air\ dingin} \times inCp_{air\ din} \text{ dan } c_h = m_{air\ panas} \times Cp_{air\ panas}$$