

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Perpindahan Panas/Kalor

Perpindahan kalor (*heat transfer*) ialah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu di antara benda atau material. Pada termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang pindah itu dinamakan kalor (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mencoba menjelaskan bagaimana energi kalor itu berpindah dari suatu benda ke benda lain, tetapi juga dapat meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi - kondisi tertentu. Kenyataan di sini yang menjadi sasaran analisis ialah masalah laju perpindahan, inilah yang membedakan ilmu perpindahan kalor dari ilmu termodinamika. (Holman,1995)

Panas atau kalor merupakan suatu bentuk energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperatur. Panas atau kalor tersebut akan bergerak dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ketika panas atau kalor bergerak maka akan terjadi pertukaran panas dan kemudian akan berhenti ketika kedua tempat tersebut sudah memiliki temperatur yang sama. Contohnya, kopi panas ke lingkungan yang mempunyai suhu 20°C, hingga terjadi kesetimbangan atau kesamaan suhu pada gelas dan lingkungan.

#### 2.2. Mekanisme Perpindahan Panas

##### 2.2.1. Konduksi

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 termal pada logam-logam padat terjadi akibat gerakan elektron yang terikat dan konduksi termal mempunyai hubungan dengan

konduktivitas listrik. Pemanasan pada logam berarti pengaktifan gerakan molekul, sedangkan pendinginan berarti pengurangan gerakan molekul. (Mc. Cabe, 1993)

### **2.2.2. Konveksi**

Konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses perpindahan kalor secara aliran/konveksi merupakan satu fenomena permukaan. Proses konveksi hanya terjadi di permukaan bahan. Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu adalah yang utama. Lazimnya, keadaan keseimbangan termodinamik di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. (Kern, 1950)

### **2.2.3. Radiasi**

Pada proses radiasi, 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. (Holman, 1995)

## **2.3. Alat Penukar Panas**

Alat penukar panas adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dapat berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak balik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*). (Syaichurrozi, Iqbal, et al., 2014)

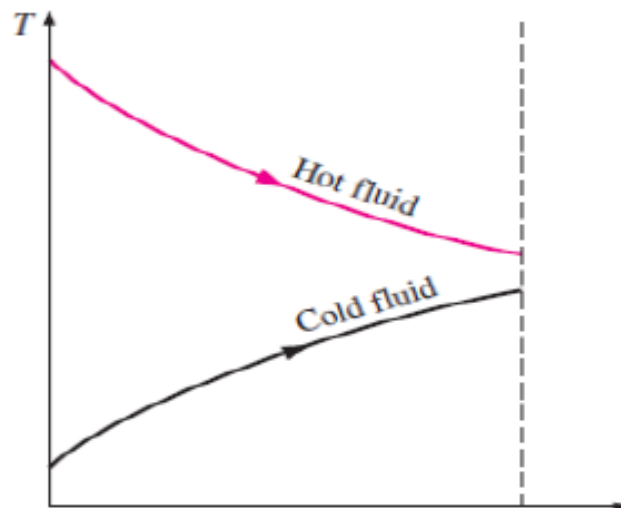
Heat Exchanger banyak digunakan di banyak aplikasi keteknikan, seperti proses teknik kimia, pembangkit listrik, penyulingan minyak bumi, pendingin, industri makanan, dan sebagainya. (Yang, Jian-Feng, et al., 2014)

### 2.3.1. Aliran Heat Exchanger

#### 1. Aliran *Co-Current*

Penukaran panas jenis ini, kedua fluida (dingin dan panas) masuk pada sisi penukar 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 tidak dapat melebihi temperatur fluida panas yang keluar dari alat penukar panas, sehingga diperlukan media pendingin/pemanas yang banyak.

Dimana profil temperatur aliran *co-current* tersaji pada gambar 1.

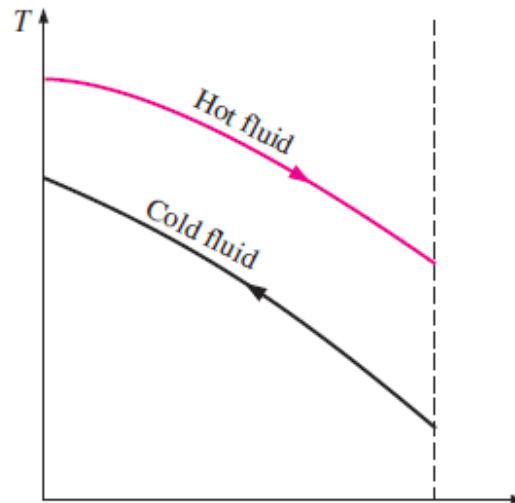


Gambar 1. Profil temperatur aliran *co-current*

#### 2. Aliran *Counter-Current*

Penukar panas jenis ini, kedua fluida (panas dan dingin) masuk dan keluar pada sisi yang berlawanan. Temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar kalor, sehingga dianggap lebih baik dari aliran searah.

Dimana profil temperatur aliran *counter-current* tersaji pada gambar 2.



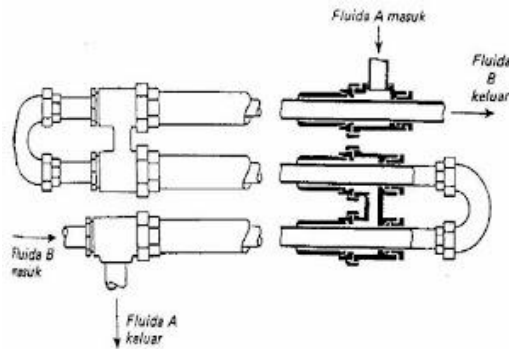
Gambar 2. Profil temperatur aliran *counter-current*

### 2.3.2. Tipe – tipe Heat Exchanger

#### 1. 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. Dimana double pipe heat exchanger tersaji pada gambar 3.

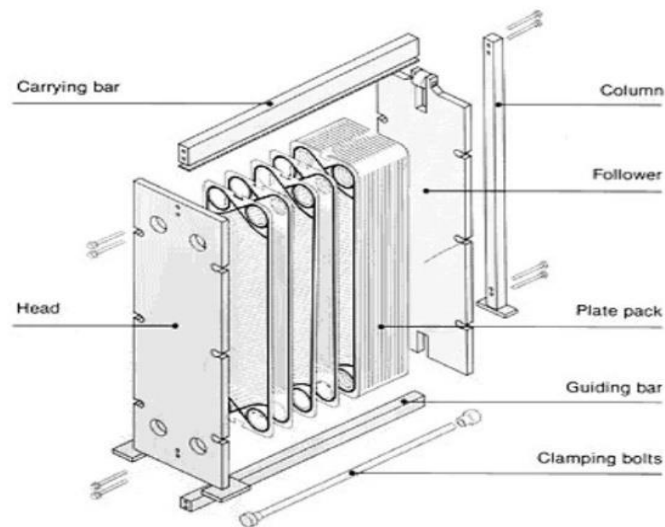


Gambar 3. Double pipe heat exchanger

## 2. Plate and Frame Heat Exchanger

Heat exchanger tipe ini menggunakan plat tipis sebagai komponen utamanya. Plat yang digunakan dapat berbentuk polos ataupun bergelombang sesuai dengan desain yang dikembangkan. 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 10 (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 sebaliknya karena ada sekat.

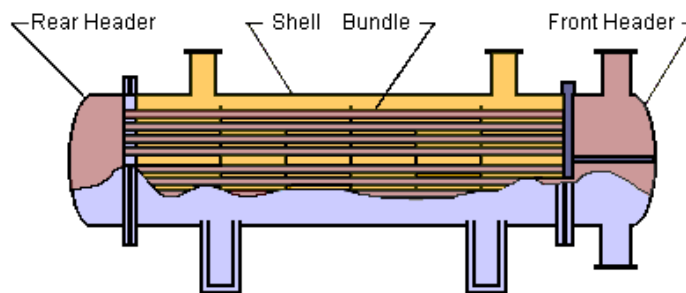
Heat exchanger jenis ini tidak cocok untuk digunakan pada tekanan fluida kerja yang tinggi, dan juga pada diferensial temperatur fluida yang tinggi pula. Dimana plate and frame heat exchanger tersaji pada gambar 4.



Gambar 4. Plate and frame heat exchanger

### 3. Shell and Tube Heat Exchanger

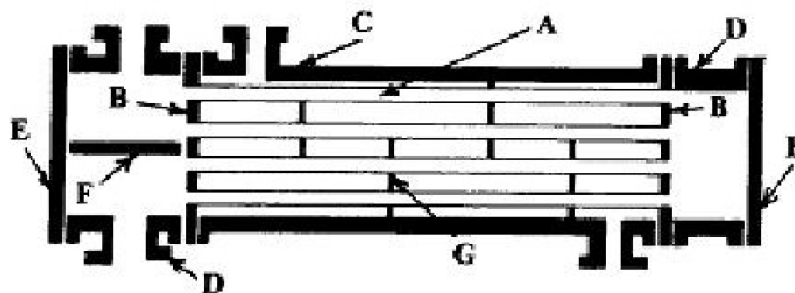
Heat exchanger tipe *shell & tube* menjadi satu tipe yang paling mudah dikenal. Tipe ini melibatkan *tube* sebagai komponen utamanya. Salah satu fluida mengalir di dalam *tube*, sedangkan fluida lainnya mengalir di luar *tube*. Pipa - pipa *tube* didesain berada di dalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan *shell*, sedemikian rupa sehingga pipa-pipa *tube* tersebut berada sejajar dengan sumbu *shell*. 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 harus diatur sedemikian rupa. Dimana Heat exchanger tipe *shell & tube* tersaji pada gambar 5.



Gambar 5. Shell and tube heat exchanger

### 2.3.3. Komponen – komponen pada Shell and Tube Heat Exchanger

Alat penukar kalor tipe Shell and Tube memiliki komponen – komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksinya. Adapun komponen – komponen dari alat penukar kalor tipe ini adalah



Gambar 6. Komponen-komponen alat penukar kalor tipe shell and tube

- |                                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|
| A. Tubes                          | E. Channel Covers |
| B. Tube sheets                    | F. Pass divider   |
| C. Shell and shell side nozzles   | G. Baffles        |
| D. Tube side channels and nozzles |                   |

(Bizzy dan R. Setiadi, 2013)

### 2.3.4. Langkah – langkah Perancangan Shell and Tube Heat Exchanger

Sebelum mendesain alat penukar kalor, dibutuhkan data dari laju aliran, temperature masuk dan temperature keluar dan tekanan operasi kedua fluida.

Data ini dibutuhkan terutama untuk fluida gas jika densitas gas tidak diketahui. Untuk fluida berupa cairan, data tekanan operasi tidak terlalu dibutuhkan karena sifat-sifatnya tidak banyak berubah apabila tekanannya berubah. Langkah-langkah yang biasa dilakukan dalam merencanakan atau mendesain alat penukar kalor adalah :

1. Penentuan heat duty (Q) yang diperlukan penukar kalor yang direncanakan harus memenuhi atau melebihi syarat ini.
2. Menentukan ukuran (size) alat penukar kalor dengan perkiraan yang masuk akal untuk koefisien perpindahan kalor keseluruhannya.
3. Menentukan fluida yang akan mengalir di sisi tube atau shell. Biasanya sisi tube direncanakan untuk fluida yang bersifat korosif, beracun, bertekanan tinggi, atau bersifat mengotori dinding. Hal ini dilakukan agar lebih mudah dalam proses pembersihan atau perawatannya.
4. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah tube yang digunakan dengan menggunakan rumus :

$$A = Nt (\pi d_o) L, \text{ dimana}$$

$d_o$  = diameter luar tube (mm)

L = panjang tube (mm)

5. Menentukan ukuran shell. Langkah ini dilakukan setelah kita mengetahui jumlah tube yang direncanakan. Kemudian perkiraan jumlah *pass* dan *tube pitch* yang akan digunakan.
6. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah baffle dan jarak antar baffle yang akan digunakan. Biasanya baffle memiliki jarak yang seragam dan minimum jaraknya 1/5 dari diameter shell tapi tidak kurang dari 2 inchi.



7. Langkah yang terakhir adalah memeriksa kinerja dari alat penukar kalor yang telah direncanakan. Hitung koefisien perpindahan panas di sisi tabung dan sisi shell. Hitung factor pengotornya apakah sesuai dengan standar yang diizinkan, dan penurunan tekanan di sisi tube dan shell.  
(Bizzy dan Setiadi, 2013)

## **2.4 Alat Penukar Panas Shell and Tube**

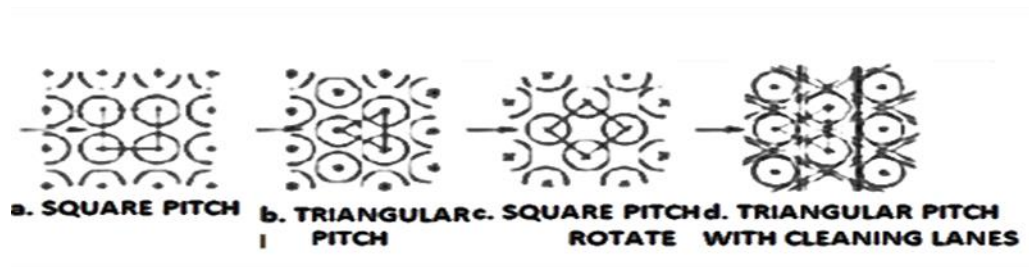
Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*.

### **2.4.1 Susunan dan Jumlah Tube**

Diameter dalam tube merupakan diameter dalam actual dalam ukuran inch dengan toleransi yang sangat ketat. 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 7. Jenis-jenis *tube pitch*

#### 2.4.2 Baffle Alat Penukar Panas

STHE merupakan alat penukar panas yang mahal, maka dari itu STHE memerlukan suatu pemeliharaan yang benar agar bisa tahan lama. Untuk keperluan tersebut maka pada STHE dipasang baffle atau sekat dan juga disebut penahan yang berfungsi antara lain :

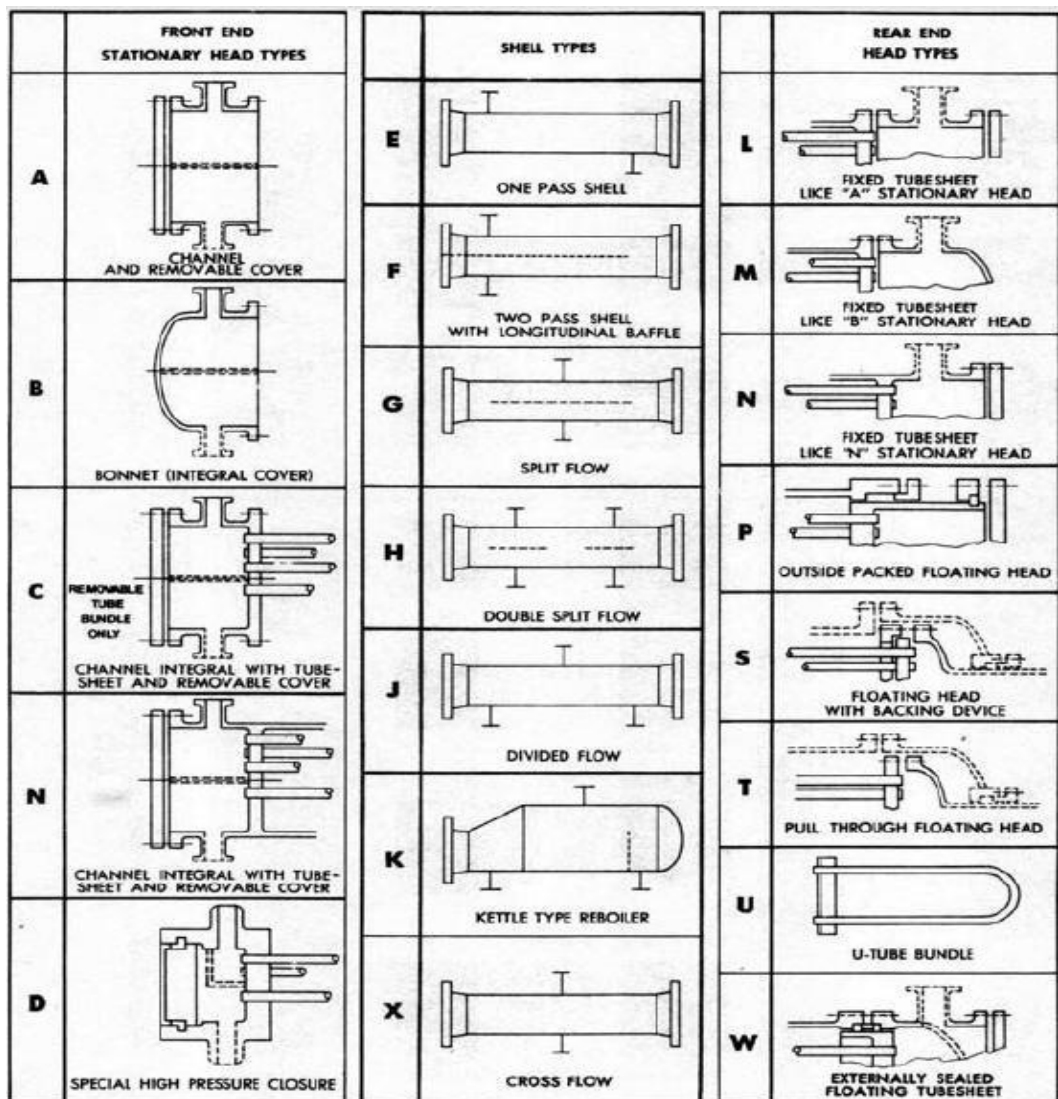
1. Sebagai pengikat, penopang atau penahan tube bundle
2. Sebagai pencegah agar tube tidak bergetar dan tidak melengkung
3. Sebagai alat untuk mengarahkan aliran fluida di dalam shell

Tipe baffle ada dua macam, yaitu bentuk plat (plate) dan bentuk batang (rod). Bentuk plat dapat dibagi lagi sebagai segmen tunggal (single segmental), segmen ganda (double segmental) dan segmen tripel (triple segmental).

Bila dalam STHE menggunakan single phase fluids ( fluida yang fasenya tetap) direkomendasikan menggunakan horizontal baffle cut, sebab akan mengurangi endapan/deposit pada dasar shell, sebaliknya untuk two shell pass lebih baik menggunakan vertical baffle cut karena akan memudahkan fabrikasi. (Luqman Buchori, 2011)

### 2.4.3 Komponen STHE ( Shell and Tube Heat Exchanger)

Komponen-komponen atau bagian-bagian pembentuk STHE terdiri dari *shell* (selubung/cangkang), *shell cover* (penutup shell pada ujung), *tubes* (pipa), *channel* (saluran), *channel copper* (penutup saluran), *tubesheet* (pelat pengikat pipa).



Gambar 8. Jenis shell berdasarkan TEMA