

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi karena adanya perbedaan temperatur. Perpindahan kalor meliputi proses pelepasan maupun penyerapan kalor, untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang dibutuhkan sewaktu proses berlangsung. Kalor sendiri adalah salah satu bentuk energi.

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi tidak musnah, contohnya hukum kekekalan massa dan momentum, ini artinya kalor tidak hilang. Energi hanya berubah bentuk dari bentuk yang pertama ke bentuk yang ke dua.

Kalor dapat berpindah dengan tiga macam cara yaitu:

1. Pancaran, sering juga dinamakan radiasi.
2. Hantaran, sering juga disebut konduksi.
3. Aliran, sering juga disebut konveksi.

2.2 Perpindahan Panas secara Radiasi

Yang dimaksud dengan 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 hakekatnya proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan diserap ke dalam bahan, dan sebagian akan menembusi 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).

Holman [8] menjabarkan laju perpindahan kalor secara radiasi dapat dinyatakan sebagai :

$$q = \epsilon \cdot A \cdot \sigma(T_s^4 - T_{sur}^4)$$

Dimana :

ϵ = emisivitas ;sifat radiasi pada permukaan

A = luas permukaan (m²)

σ = konstanta *Stefan-Boltzman* ($5,67 \cdot 10^8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$)

T_s^4 = temperatur absolute permukaan (K⁴)

T_{sur}^4 = temperatur sekitar (K⁴)

2.3 Perpindahan Panas secara Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang bertemperatur tinggi ke tempat yang bertemperatur rendah di dalam medium yang bersinggungan langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan panas serta energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi, laju perpindahan kalornya dinyatakan sebagai:

$$q = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

Dimana :

q = laju perpindahan kalor (W)

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

k = konduktifitas thermal bahan (W/m.K)

A = luas bidang perpindahan kalor (m²)

2.4 Perpindahan Panas Secara Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas antara permukaan solid dan berdekatan dengan fluida yang bergerak atau mengalir dan itu melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida.

Laju perpindahan kalor secara konveksi dapat dinyatakan sebagai :

$$q = h \cdot A (T_s - T^\infty)$$

Dimana :

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

A = luas penampang (m^2)

T_s = temperatur plat (K)

T^∞ = temperatur fluida yang mengalir dekat permukaan (K)

(Anonim, 2011)

2.5 Heat Exchanger

Alat penukar panas atau *Heat Exchanger* (HE) adalah alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari sistem ke sistem lain tanpa perpindahan massa dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas dipakai adalah air yang dipanaskan sebagai fluida panas dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkannya maupun keduanya bercampur langsung (*direct contact*).

Tipe Aliran pada Alat Penukar Panas

Tipe aliran di dalam alat penukar panas ini ada 4 macam aliran yaitu :

1. *Counter current flow* (aliran berlawanan arah)
2. *Paralel flow/co current flow* (aliran searah)
3. *Cross flow* (aliran silang)

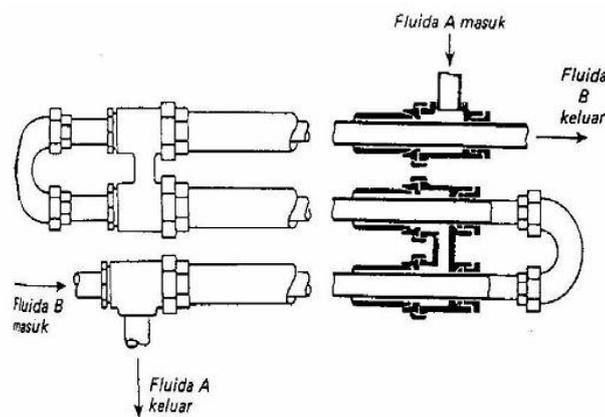
4. *Cross counter flow* (aliran silang berlawanan)

2.6 Jenis-Jenis Heat Exchanger

1. Penukar panas pipa rangkap (double pipe heat exchanger)

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.



**Gambar 1 . Penukar panas jenis pipa rangkap
(double pipe heat exchanger)**

2. 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 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 sebelahnya karena ada sekat.



Gambar 2. Penukar panas jenis plat and frame

3. Pillow plate heat exchanger

Sebuah pelat penukar bantal umumnya digunakan dalam industri susu untuk susu pendingin dalam jumlah besar langsung ekspansi tank massal stainless steel. Pelat bantal memungkinkan untuk pendinginan di hampir daerah seluruh permukaan tangki, tanpa sela yang akan terjadi antara pipa dilas ke bagian luar tangki. Pelat bantal dibangun menggunakan lembaran tipis dari logam-spot dilas ke permukaan selebar tebal dari logam.

Pelat tipis dilas dalam pola teratur dari titik-titik atau dengan pola serpentin garis las. Setelah pengelasan ruang tertutup bertekanan dengan

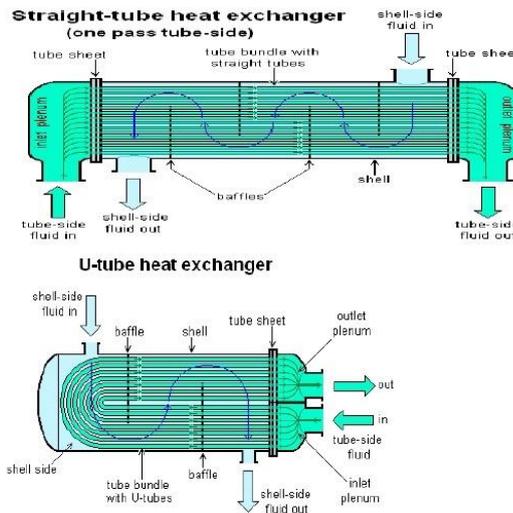
kekuatan yang cukup untuk menyebabkan logam tipis untuk tonjolan di sekitar lasan, menyediakan ruang untuk cairan penukar panas mengalir, dan menciptakan penampilan yang karakteristik bantal membengkak terbentuk dari logam.

4. *Dynamic scraped surface heat exchanger*

Tipe lain dari penukar panas disebut "(dinamis) besot permukaan heat exchanger". Ini terutama digunakan untuk pemanasan atau pendinginan dengan tinggi viskositas produk, proses kristalisasi, penguapan tinggi dan fouling aplikasi. Kali berjalan panjang yang dicapai karena terus menerus menggores permukaan, sehingga menghindari pengotoran dan mencapai kecepatan transfer panas yang berkelanjutan selama proses tersebut.

5. 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 3. Penukar panas jenis cangkang dan buluh

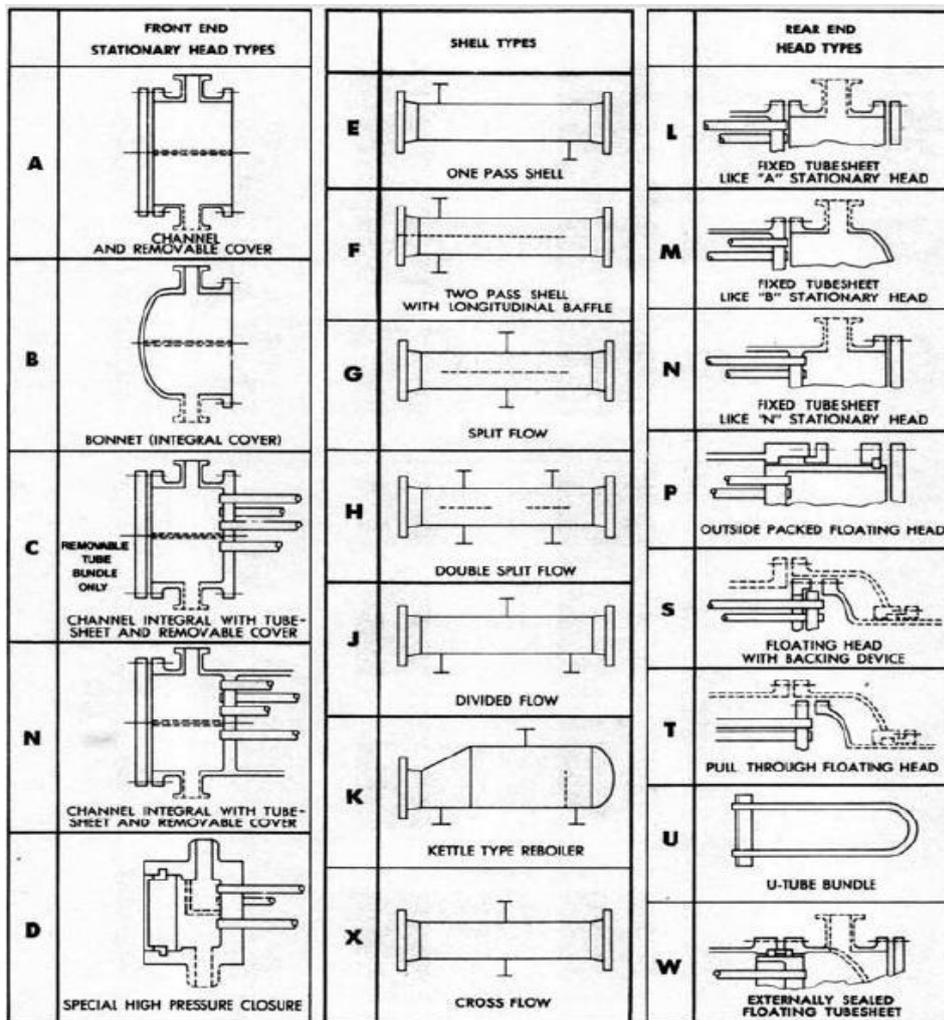
(Anonim, 2013)

2.7 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

(Carl Branen, 2002)

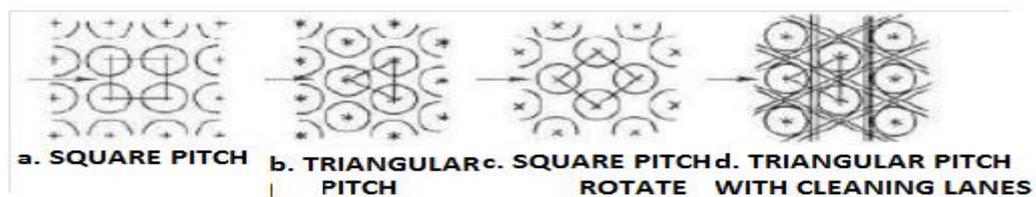
b. *Tube* (Pipa)

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 :

- a. Square pitch
- b. Triangular pitch
- c. Square pitch rotated
- d. Triangular pitch with cleaning lanes (Kern, 1980)



Gambar 5. Jenis-jenis tube pitch

(Kern, 1950)

- 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*.

2.8 Perancangan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube

Sebelum mendesain alat penukar kalor, dibutuhkan data dari laju aliran (*flow rate*), temperatur masuk dan temperatur keluar, dan tekanan operasi kedua fluida. Data ini dibutuhkan terutama untuk fluida gas jika densitas gas tidak diketahui. Untuk fluida berupa cairan (*liquid*), data tekanan operasi tidak terlalu dibutuhkan karena sifat - sifatnya tidak banyak berubah apabila tekanannya berubah.

Langkah – langkah yang biasa di lakukan dalam merancang 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 di rencanakan 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 (Nt) yang digunakan dengan menggunakan rumus :

$$A = Nt (\pi d_0) L$$

di mana :

d_0 = diameter luar tube (mm)

L = Panjang tube (mm)

5. Menentukan ukuran shell. Langkah ini dilakukan setelah kita mengetahui jumlah tube yang direncanakan. Kemudian perkirakan 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 diametr 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 faktor pengotorannya apakah sesuai dengan standar yang diijinkan dan penurunan tekanan di sisi tube dan shell. (Bizzy, 2013)

2.9 Perhitungan Faktor Pengotor (*Fouling Factor*) Heat Exchanger

Faktor pengotoran ini sangat mempengaruhi perpindahan kalor pada alat penukar kalor. Pengotoran ini dapat terjadi endapan dari fluida yang mengalir, juga disebabkan oleh korosi pada komponen dari alat penukar kalor akibat pengaruh dari jenis fluida yang dialirinya. Selama alat penukar kalor ini dioperasikan maka pengaruh pengotoran pasti akan terjadi. Terjadinya pengotoran tersebut dapat mengganggu atau mempengaruhi temperatur fluida mengalir dan dapat menurunkan atau mempengaruhi koefisien perpindahan panas menyeluruh dari fluida tersebut.

Faktor pengotoran dapat dicari dengan persamaan :

$$R_f = \frac{U_c - U_d}{U_c \times U_d}$$

$$R_f = \frac{1}{U_d} - \frac{1}{U_c}$$

di mana ;

U_c = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh bersih ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

U_d = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh direncanakan ($W/m^2 \text{ } ^\circ C$)

(Bizzy, 2013)