

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Panas

Perpindahan kalor atau panas (*heat transfer*) merupakan ilmu yang berkaitan dengan perpindahan energi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Dimana energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Perbedaan temperatur menjadi daya penggerak untuk terjadinya perpindahan kalor. Proses perpindahan panas akan terus berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi. (Holman, 1995)

Perpindahan kalor dapat berlangsung dengan 3 (tiga) cara, yaitu:

1. **Perpindahan kalor konduksi**

Adalah proses perpindahan panas jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, tetapi media untuk perpindahan panas tetap. Laju aliran panas dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain luas permukaan benda yang saling bersentuhan, perbedaan suhu awal antara kedua benda, dan konduktivitas panas dari kedua benda tersebut. Konduktivitas panas ialah tingkat kemudahan untuk mengalirkan panas yang dimiliki suatu benda (Holman, 1995).

2. **Perpindahan kalor konveksi (Alami dan Paksa)**

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. Jadi dalam proses ini struktur bagian dalam bahan kurang penting. 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).

Perpindahan panas secara konveksi terjadi melalui 2 cara yaitu :

a) Konveksi bebas/ konveksi alamiah

adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh beda suhu dan beda rapat saja dan tidak ada tenaga dari luar yang mendorongnya.

Contoh : plat panas dibiarkan berada di udara sekitar tanpa ada sumber gerakan dari luar.

b) Konveksi paksaan

Adalah perpindahan panas yang aliran gas atau cairannya disebabkan adanya tenaga dari luar.

Contoh : plat panas dihembus udara dengan kipas/blower.

3. Perpindahan kalor radiasi

Perpindahan panas radiasi adalah perpindahan panas yang terjadi karena pancaran/sinaran/radiasi gelombang elektromagnetik. Perpindahan panas radiasi berlangsung dengan panjang gelombang pada interval tertentu. Jadi perpindahan panas radiasi tidak memerlukan media, sehingga perpindahan panas dapat berlangsung dalam ruangan hampa udara. Contohnya ialah panas matahari yang sampai ke bumi. (Luqman Buchori, 2011)

2.2 Alat Penukar Kalor

Merupakan alat yang difungsikan untuk mengakomodasikan perpindahan panas dari fluida panas ke fluida dingin dengan adanya perbedaan temperatur. Karena panas yang dipertukarkan terjadi dalam sebuah sistem maka

kehilangan panas dari suatu benda akan sama dengan panas yang diterimabenda lain. (Dwi Indra Wibawa,2016)

Menurut Dean A Barlet (1996) bahwa alat penukar kalor memiliki tujuan untuk mengontrol suatu sistem (temperatur) dengan menambahkan atau menghilangkan energi termal dari suatu fluida ke fluida lainnya. Walaupun ada banyak perbedaan ukuran, tingkat kesempurnaan, dan perbedaan jenis alat penukar kalor, semua alat penukar kalor menggunakan elemen-elemen konduksi termal yang pada umumnya berupa tabung “*tube*” atau plat untuk memisahkan dua fluida. Salah satu dari elemen tersebut, memindahkan energi kalor ke elemen yang lainnya. (Bizzy I, Setiadi R, 2013).

2.3 Klasifikasi Alat Penukar Kalor

2.3.1 Berdasarkan Proses Perpindahan Kalor

1. Perpindahan kalor secara langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase/penghubung antara kedua fluida. Contoh: aliran steam pada kontak langsung yaitu 2 zat cair yang immiscible (tidak dapat bercampur), gas-liquid, dan partikel padat-kombinasi fluida. (Fahreza, 2016)

2. Perpindahan kalor secara tak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dandingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir. (Fahreza, 2016)

2.3.2 Berdasarkan Konstruksi

1. 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 (berkas) pipa dengan diameter yang relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir dibagian luar pipa tetapi masih didalam shell.

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menentukan aliran fluida dalam shell side dan Tube side untuk shell and Tube exchanger 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 padashell

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). Koefisien perpindahan panas yang lebih tinggi terdapat pada shell side, karena aliran turbulen akan terjadi melintang melalui sisi luar tube dan baffle. (Fahreza, 2016)

Faktor yang mempengaruhi efektivitas alat penukar panas (Heat Exchanger) terutama Heat exchanger tipe shell & tube:

- a. Penggunaan baffle dapat meningkatkan efektivitas alat penukar panas, hal ini sejalan dengan peningkatan koefisien perpindahan panas.
- b. Pengaruh tebal isolasi pada bagian luar shell, efektivitas meningkat hingga suatu harga maksimum dan kemudian berkurang.

- c. Dengan menggunakan alat penukar panas tabung konsentris, efektifitas berkurang, jika kecepatan udara masuk dingin meningkat dan efektifitas meningkat, jika laju alir massa udara meningkat.
- d. Menentukan jarak antar baffle minimum 0,2 dari diameter shell sedangkan jarak maksimum ialah 1x diameter bagian dalam shell. Jarak baffle yang panjang akan membuat aliran membujur dan kurang menyimpang dari aliran melintang.
- e. Melakukan penelitian penggunaan baffle dapat meningkatkan efektifitas alat penukar panas, hal ini sejalan dengan peningkatan koefisien perpindahan panas.
- f. Melakukan penelitian pengaruh tebal isolasi pada bagian luar shell, efektifitas meningkat hingga suatu harga maksimum dan kemudian berkurang.
- g. Menyimpulkannya dengan menggunakan alat penukar panas tabung konsentris, efektifitas berkurang, jika kecepatan udara masuk dingin meningkat dan efektifitas meningkat, jika laju alir massa udara meningkat.
- h. Menentukan jarak antar baffle minimum 0,2 dari diameter shell sedangkan jarak maksimum ialah 1x diameter bagian dalam shell. Jarak baffle yang panjang akan membuat aliran membujur dan kurang menyimpang dari aliran melintang. (Fahreza, 2016)

2. Jenis Double Pipe (Pipa Ganda)

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).

Keistimewaan jenis ini adalah mampu beroperasi pada tekanan yang tinggi, dan karena tidak ada sambungan, resiko tercampurnya kedua fluida sangat kecil. Fleksibel dalam berbagai aplikasi dan pengaturan pipa, dapat dipasang secara seri ataupun paralel, dapat diatur sedemikian rupa agar diperoleh batas pressure drop dan LMTD sesuai dengan keperluan, mudah bila kita ingin menambahkan luas permukaannya dan kalkulasi design mudah dibuat dan akurat. Sedangkan kelemahannya terletak pada kapasitas perpindahan panasnya sangat kecil, mahal, terbatas untuk fluida yang membutuhkan area perpindahan kalor kecil ($<50 \text{ m}^2$), dan biasanya digunakan untuk sejumlah kecil fluida yang akan dipanaskan atau dikondensasikan. (Fahreza, 2016)

3. Koil Pipa

Heat Exchanger ini mempunyai pipa berbentuk koil yang dibenamkan didalam sebuah box berisi air dingin yang mengalir atau yang disemprotkan untuk mendinginkan fluida panas yang mengalir di dalam pipa. Jenis ini disebut juga sebagai box cooler jenis ini biasanya digunakan untuk pemindahan kalor yang relative kecil dan fluida yang didalam shell yang akan diproses lanjut.

HE jenis ini disusun dari tabung-tabung (tubes) dengan jumlah besar mengelilingi tabung inti, dimana setiap HE terdiri dari lapisan-lapisan tabung sepanjang arah aksial maupun radial. Aliran tekanan tinggi diberikan pada tube diameter kecil, sementara untuk tekanan rendah dialirkan pada bagian luar tube diameter kecil. HE jenis ini memiliki keuntungan untuk kondisi suhu rendah antara lain:

a. Perpindahan kalor dapat dilakukan lebih dari dua aliran secara simultan.

b. Memiliki jumlah unit Heat transfer yang tinggi

c. Dapat dilakukan pada tekanan tinggi.

4. Jenis Pipa Terbuka (Open Tube Section)

Pada heat exchanger ini pipa-pipa tidak ditempatkan lagi didalam shell, tetapi dibiarkan di udara. Pendinginan dilakukan dengan mengalirkan air atau udara pada bagian pipa. Berkas pipa itu biasanya cukup panjang. Untuk pendinginan dengan udara biasanya bagian luar pipa diberi sirip-sirip untuk memperluas permukaan perpindahan panas. Seperti halnya jenis coil pipe, perpindahan panas yang terjadi cukup lamban dengan kapasitas yang lebih kecil dari jenis shell and tube. (Fahreza, 2016)

5. Jenis spiral

Jenis ini mempunyai bidang perpindahan panas yang melingkar. Karena alirannya yang melingkar maka sistem ini dapat melakukan "Self Cleaning" dan mempunyai efisiensi perpindahan panas yang baik, akan tetapi konstruksi seperti ini tidak dapat dioperasikan pada tekanan tinggi. (Budiman A, et al. 2014)

6. *Plate Heat Exchanger*

Merupakan salah satu jenis alat penukar panas yang terdiri atas paket pelat-pelat tegak lurus bergelombang atau dengan profil lain, yang dipisahkan antara satu dengan lainnya oleh sekat-sekat lunak. Pelat-pelat ini dipersatukan oleh suatu perangkat penekan dan jarak antara pelat-pelat ditentukan oleh sekat-sekat tersebut. Pada setiap sudut dari pelat yang berbentuk empat persegi panjang terdapat lubang. Melalui dua di antara lubang-lubang ini media yang satu disalurkan masuk dan keluar pada satu sisi, sedangkan media yang lain

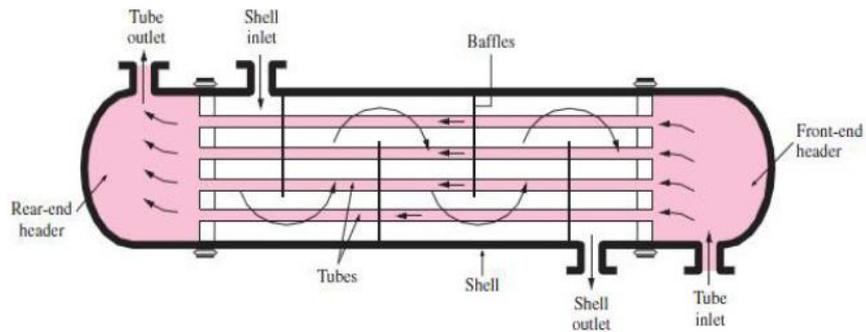
karena adanya sekat mengalir melalui ruang antara disebelahnya. Dalam hal itu hubungan ruang yang satu dan yang lainnya dimungkinkan. pelat-pelat yang dibentuk sesuai kebutuhan dan umumnya terbuat dari baja atau logam lainnya.

Kelebihan PHE antara lain:

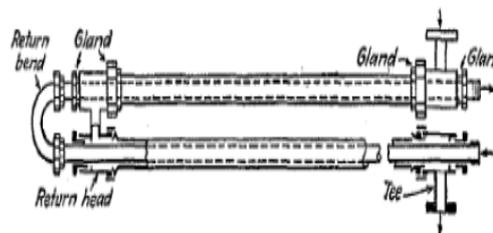
- a. Mempunyai permukaan perpindahan yang sangat besar pada volume alat yang kecil, sehingga perpindahan panas yang efisien.
- b. Mudah dirawat dan dibersihkan.
- c. Mudah dibongkar dan dipasang kembali ketika proses pembersihan.
- d. Waktu tinggal media sangat pendek.
- e. Dapat digunakan untuk cairan yang sangat kental (viskos).
- f. Plate and Frame lebih fleksibel, dapat dengan mudah pelatnya ditambah.
- g. Ukuran yang lebih kecil dapat mengurangi biaya dalam segi bahan (Stainless Steel, Titanium, dan logam lainnya).
- h. Aliran turbulensinya mengurangi peluang terjadinya fouling dan sedimentasi

Kekurangan PHE:

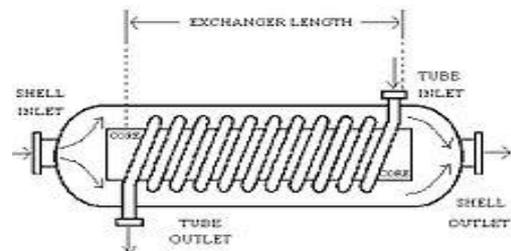
- a. Pelat merupakan bentuk yang kurang baik untuk menahan tekanan. Plate and Frame Heat Exchanger tidak sesuai digunakan untuk tekanan lebih dari 30 bar.
- b. Pemilihan material gasket yang sesuai sangatlah penting.
- c. Maksimum temperatur operasi terbatas hingga 250⁰C dikarenakan performa dari material gasket yang sesuai. (Fahreza, 2016)



Gambar 1. Fixed head 1-2 exchanger



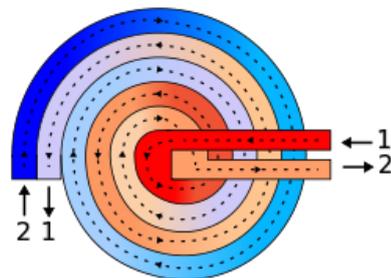
Gambar 2. Double pipe exchanger



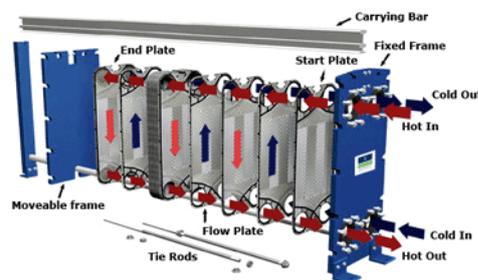
Gambar 3. Coil heat exchanger



Gambar 4. Open tube heat exchanger



Gambar 5. Spiral heat exchanger

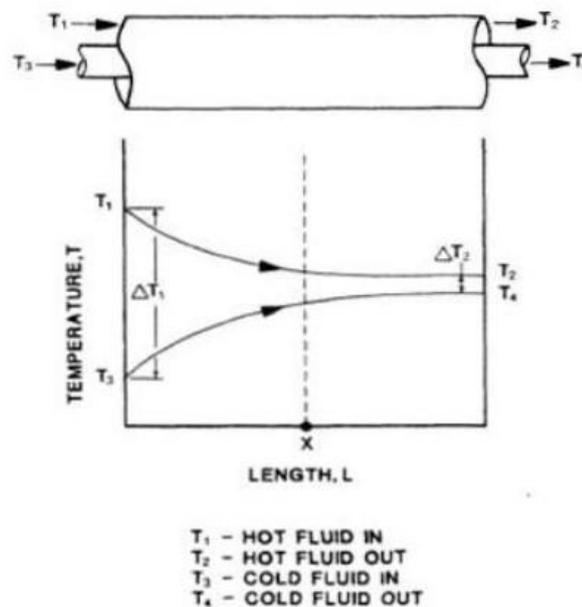


Gambar 6. Tipe plate and frame

2.3.3 Berdasarkan Aliran

1. Aliran Sejajar (Co-Current)

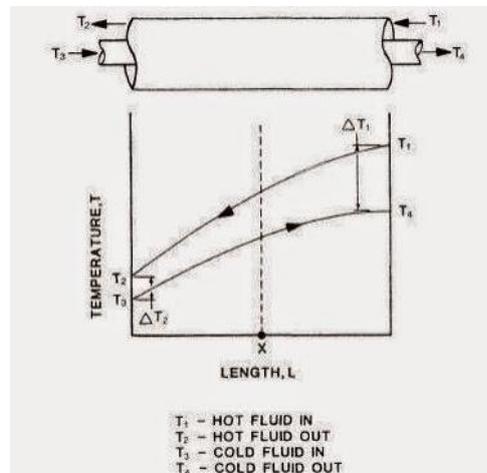
Alat penukar kalor tipe aliran sejajar, memiliki arah aliran dari dua fluida yang bergerak secara sejajar. Kedua fluida masuk dan keluar pada sisi penukar panas yang sama. Temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang menerima sejak memasuki alat penukar kalor hingga keluar. Temperatur fluida yang menerima kalor tidak akan pernah mencapai temperatur fluida yang memberikan kalor. (Bizzy I, Setiadi R, 2013).



Gambar 7. Skema Aliran sejajar (co-current)

2. Aliran Berlawanan (Counter Current)

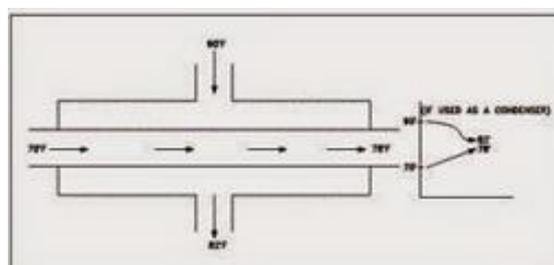
Alat penukar kalor tipe aliran berlawanan, memiliki arah aliran yang berlawanan. Perpindahan kalor terjadi antara satu ujung bagian yang panas dari kedua fluida dan juga bagian yang paling dingin. Temperatur keluar fluida dingin dapat melebihi temperatur keluar fluida panas. (Bizzy I, Setiadi R, 2013).



Gambar 8. Skema aliran berlawanan (counter current)

3. Aliran Silang (Cros Flow)

Aliran silang memiliki arah aliran kedua fluida saling bersilangan. Contoh yang sering kita lihat adalah radiator mobil dimana arah aliran air pendingin mesin 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 panas dengan laju yang berbeda di setiap posisi yang berbeda untuk kemudian bercampur lagi setelah meninggalkan radiator sehingga akan mempunyai temperatur yang hampir seragam. (Bizzy I, Setiadi R, 2013).



Gambar 9. Skema Aliran silang (cross flow)

2.4 Heat Exchanger *Shell and Tube*

Alat ini terdiri dari sebuah shell (tabung/slinder besar) dimana didalamnya terdapat suatu bundle (berkas) pipa dengan diameter yang relatif kecil. Satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida lainnya mengalir dibagian luar pipa tetapi masih didalam shell. (Prastiyo S, 2014)

Komponen-komponen penyusun heat exchanger shell and tube adalah:

a. Shell

Shell merupakan badan dari heat exchanger, dimana terdapat tube bundle. Antara shell and tube bundle terdapat fluida yang menerima atau melepaskan panas. Yang dimaksud dengan lintasan shell adalah lintasan yang dilakukan oleh fluida yang mengalir ke dalam melalui saluran masuk (inlet nozzle) dan mengelilingi tube kemudian keluar melalui saluran keluar (outlet nozzle). 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. (Prastiyo S, 2014)

b. Tube

Tube atau pipa merupakan bidang pemisah antara kedua jenis fluida yang mengalir didalamnya dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. Selain itu bahan pipa tidak mudah terkorosi oleh fluida kerja. Bahan tube dapat diubah dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Diameter dalam tube merupakan diameter dalam actual dalam ukuran inch dengan toleransi yang sangat ketat. Ketebalan dan bahan pipa harus dipilih pada tekanan operasi fluida kerjanya. 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. (Prastiyo S, 2014). Jenis-jenis tube pitch antara lain:

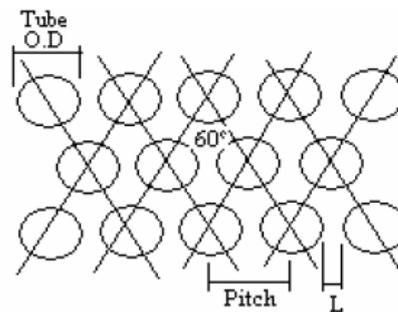
➤ *Triangular Pitch*

Keuntungan :

- Film koefisien lebih tinggi daripada square pitch.
- Dapat dibuat jumlah tube yang lebih banyak sebab susunannya kompak.

Kerugian :

- Pressure drop yang terjadi antara menengah ke atas.
- Tidak baik untuk fluida fouling.
- Pembersihan secara kimia. (Dwi Indra Wibawa,2014)



Gambar 10. *Triangular pitch*

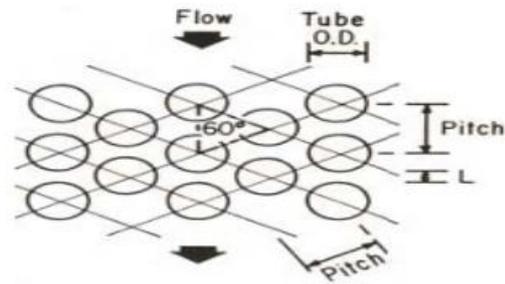
➤ *In-line Triangular Pitch (Rotated Triangular Pitch)*

Keuntungan :

- Film koefisiennya tidak sebesar susunan triangular pitch, tetapi lebih besar dari susunan square pitch.
- Dapat digunakan pada fluida fouling

Kerugian :

- Pressure drop yang terjadi antara menengah ke atas.
- Pembersihan secara kimia. (Dwi Indra Wibawa,2014)



Gambar 11. *In-line triangular pitch*

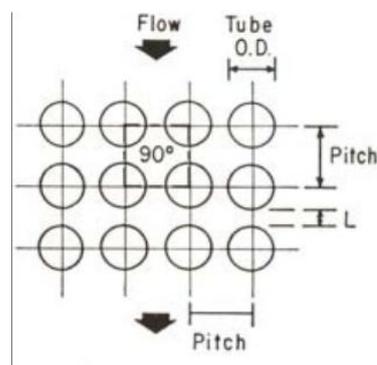
➤ Square Pitch

Keuntungan :

- Bagus untuk kondisi yang memerlukan pressure drop rendah.
- Baik untuk pembersihan luar tube secara mekanik.
- Baik untuk menangani fluuida fouling.

Kerugian :

- Film koefisiennya relatif rendah. (Dwi Indra Wibawa,2014)



Gambar 12. *Square pitch*

➤ *Diamond Square Pitch*

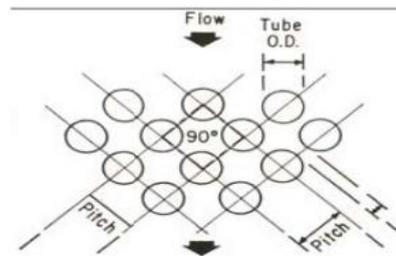
Keuntungan :

- Film koefisiennya lebih baik dari susunan square pitch, tetapi tidak sebaik triangular pitch dan rotated triangular pitch.
- Mudah untuk pembersihan dengan mekanik.

- Baik untuk fluida fouling.

Kerugian :

- Film koefisien relatif rendah.
- Pressure drop tidak serendah square pitch. (Dwi Indra Wibawa,2014)



Gambar 13. *Diamond square 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 tubes.

Ditinjau dari segi konstruksinya *baffle* dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok, yaitu:

- sekat plat bentuk segmen.
- Sekat bintang (*rod baffle*).
- Sekat mendatar.
- Sekat impingement. (Dwi Indra Wibawa,2014)

d. Pass Divider

Komponen ini berupa plat yang dipasang di dalam channels untuk membagi aliran fluida tube bila diinginkan jumlah tube pass lebih dari satu.

e. Tube Sheet

Tempat untuk merangkai ujung-ujung tube sehingga menjadi satu yang disebut tube bundle. HE dengan tube lurus pada umumnya menggunakan 2 buah tube sheet. Sedangkan pada tube tipe U menggunakan satu buah tube sheet yang berfungsi untuk menyatukan tube-tube menjadi tube bundle dan sebagai pemisah antara tube side dengan shell side. Tube sheet merupakan bagian yang penting pada penukar kalor. Bagian ini merupakan tempat disatukannya pipa-pipa pada bagian ujungnya. Tube sheet ini dibuat tebal dan pipa harus terpasang rapat tanpa bocor pada tube sheet. Dengan konstruksi fluida yang mengalir pada badan shell tidak akan tercampur dengan fluida yang mengalir didalam tube. Penyambungan antar tube sheet dengan pipa merupakan hal yang paling penting untuk diperhatikan, karena segala kegagalan penyambungan ini akan menyebabkan kebocoran dan pencampuran kedua fluida di dalam penukar kalor. (Hariyanto D, 2016)

2.5 Perancangan *Heat Exchanger*

1. Menentukan Beban Kerja Perencanaan di Sisi *shell* dan *Tube*
2. Menghitung Temperatur Rata-Rata
3. Menentukan Data-Data Sifat Fisik Fluida sisi Shell and sisi Tube
4. Menghitung Beda Temperatur Sebenarnya (Δt_m)
5. Menentukan Jenis Alat Penukar Kalor dan Harga Koefisien Perpindahan Panas Perencanaan
6. Menghitung Luas Perpindahan Panas (A)
7. Menentukan Spesifikasi dan *Layout Tube* mengacu pada standar TEMA
8. Menentukan Jumlah *Tube* (N_t)
9. Menentukan Spesifikasi dan *Layout Shell* dan *Baffle*
10. Mengoreksi Harga U_D

11. Menghitung Koefisien Perpindahan Panas Fluida dingin (nitrogen) pada sisi *tube* dan Fluida panas (uap air) pada sisi *Shell*
12. Menghitung Faktor Pengotoran R_d
13. Penurunan tekanan (*pressure drop*) Pada Sisi *Tube* (ΔP_t) dan Pada Sisi *Shell* (ΔP_s)
14. Menentukan efisiensi efektif alat penukar kalor

2.6 Efektivitas

Menurut Frank P. Incropera dan David P. Dewitt (1981), efektivitas suatu *heat exchanger* didefinisikan sebagai perbandingan antara perpindahan panas yang diharapkan (nyata) dengan perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *heat exchanger* tersebut.

$$\epsilon = \frac{\text{perpindahan panas nyata}}{\text{perpindahan panas maksimum yang mungkin}}$$

Sedang perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dalam *Heat exchanger* ditentukan sebagai berikut:

Jika $(Cp)_{\text{udara dingin}} > (Cp)_{\text{udara panas}}$, maka $Q_{\text{max}} = (Cp)_{\text{udara panas}}(Th_i - Tc_i)$

Jika $(Cp)_{\text{udara dingin}} < (Cp)_{\text{udara panas}}$, maka $Q_{\text{max}} = (Cp)_{\text{udara dingin}}(Th_i - Tc_i)$

Perpindahan panas maksimum mungkin terjadi bila salah satu fluida mengalami perbedaan suhu sebesar beda suhu maksimum yang terdapat dalam *Heat exchanger* tersebut, yaitu selisih antara suhu masuk fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang mungkin mengalami perbedaan suhu maksimum ini ialah fluida yang mempunyai nilai kapasitas panas (Cp) minimum. Dengan demikian efektivitas pemanasan *heat exchanger* adalah:

$$\dot{a} = \frac{(g.Cp)_{\text{udara dingin}}(Tc_o - Tc_i)}{(g.Cp)_{\text{min}}(Th_i - Tc_i)}$$

Laju aliran massa dapat ditentukan dengan mengetahui kecepatan dan kerapatan fluida serta luas penampang aliran, yaitu: $= \rho vA$. (Ekadewi Anggriani Handoyo, 2016)

Jadi secara umum efektifitas dapat dinyatakan sebagai:

$$\epsilon = \frac{\Delta T(\text{fluida minimum})}{\text{Beda suhu maksimum didalam penukar kalor}}$$

(Holman, 1995)