

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Alat penukar kalor

Menurut para ahli buchori lukman mengatakan Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat terjadi secara langsung maupun secara 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.
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, plat atau peralatan jenis lainnya.

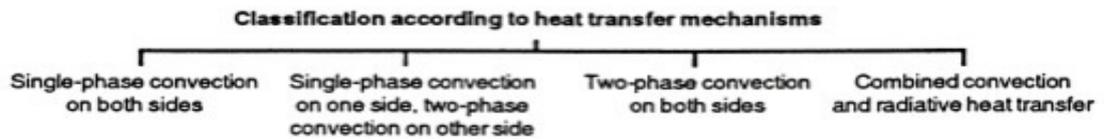
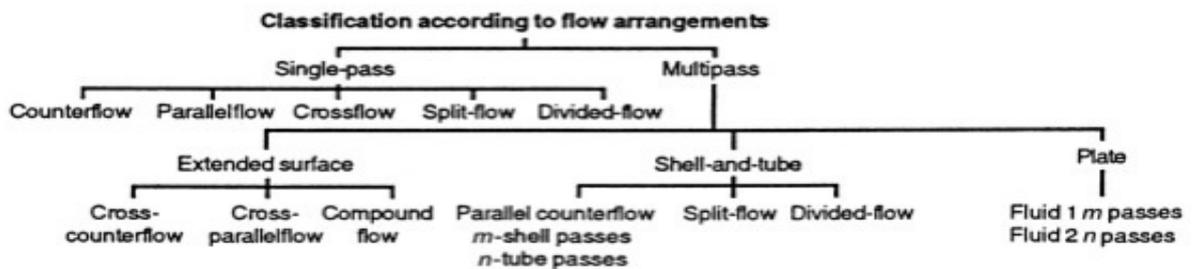
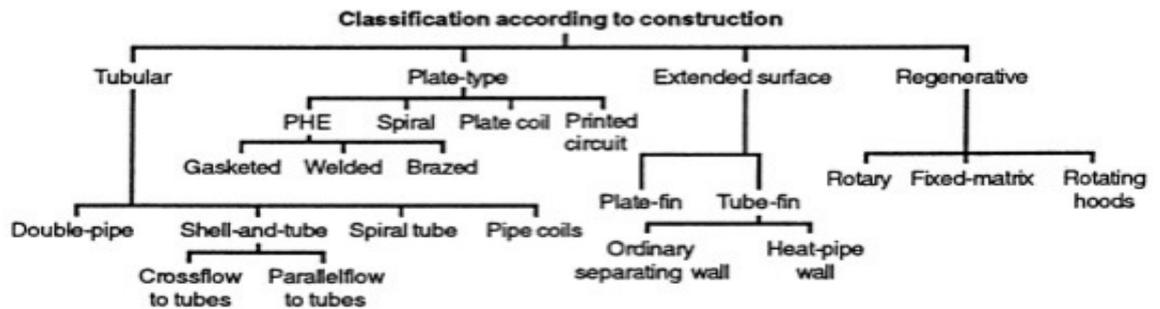
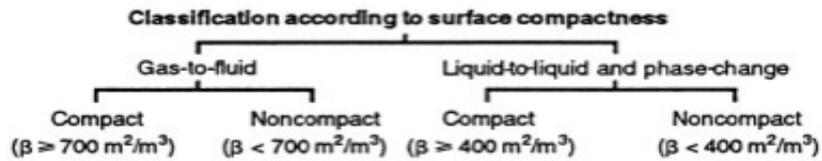
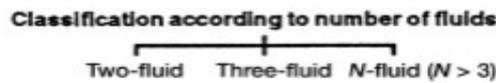
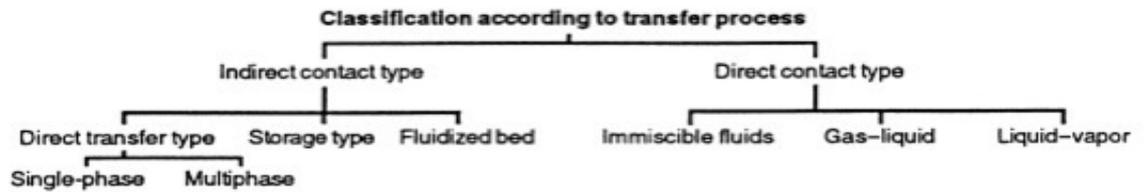
#### Macam macam *Heat Exchanger*: Alat - Penukar Panas

Dalam Bahasa Indonesia *heat exchanger* memiliki arti harfiah alat penukar panas. Namun di sini saya akan tetap menggunakan bahasa aslinya agar tidak terjadi kerancuan lebih lanjut. Pengertian ilmiah dari *heat exchanger* adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mentransfer energi panas (entalpi) antara dua atau lebih fluida, antara permukaan padat dengan fluida, atau antara partikel padat dengan fluida, pada temperatur yang berbeda serta terjadi kontak termal. Lebih lanjut, *heat exchanger* dapat pula berfungsi sebagai alat pembuang panas, alat sterilisasi, pasteurisasi, pemisahan campuran, distilasi (pemurnian, ekstraksi),

pembentukan konsentrat, kristalisasi, atau juga untuk mengontrol sebuah proses fluida( Klara, Syerly. 2008. *Modul macam – macam exchanger dan mekanisme perpindahan panas*)

Satu bagian terpenting dari *heat exchanger* adalah permukaan kontak panas. Pada permukaan inilah terjadi perpindahan panas dari satu zat ke zat yang lain. Semakin luas bidang kontak total yang dimiliki oleh *heat exchanger* tersebut, maka akan semakin tinggi nilai efisiensi perpindahan panasnya. Pada kondisi tertentu, ada satu komponen tambahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan luas total bidang kontak perpindahan panas ini. Komponen tersebut adalah sirip





## Macam-macam *Heat Exchanger*

*Heat exchanger* dapat diklasifikasikan menjadi berbagai jenis berdasarkan beberapa aspek. Secara ringkas macam-macam *heat exchanger* dapat digambarkan menjadi bagan di atas. Untuk lebih jelasnya akan kita bahas satu per satu macam-macam *heat exchanger* tersebut.

### A. Macam-macam *Heat Exchanger* Berdasarkan Proses Transfer Panas

#### 1. *Heat Exchanger* Tipe Kontak Tak Langsung

*Heat exchanger* tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Sehingga pada *heat exchanger* jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat. *Heat exchanger* jenis ini masih dibagi menjadi beberapa jenis lagi, yaitu:

- o *Heat Exchanger* Tipe *Direct-Transfer*

Pada *heat exchanger* tipe ini, fluida-fluida kerja mengalir secara terus-menerus dan saling bertukar panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin dengan melewati dinding pemisah. Yang membedakan *heat exchanger* tipe ini dengan tipe kontak tak langsung lainnya adalah aliran fluida-fluida kerja yang terus-menerus mengalir tanpa terhenti sama sekali. *Heat exchanger* tipe ini sering disebut juga dengan *heat exchanger recuperator*.

- o *Storage Type Exchanger*

*Heat exchanger* tipe ini memindahkan panas dari fluida panas ke fluida dingin secara *intermittent* (bertahap) melalui dinding pemisah. Sehingga

pada jenis ini, aliran fluida tidak secara terus-menerus terjadi, ada proses penyimpanan sesaat sehingga energi panas lebih lama tersimpan di dinding-dinding pemisah antara fluida-fluida tersebut. Tipe ini biasa pula disebut dengan *regenerative heat exchanger*.

- o *Fluidized-Bed Heat Exchanger*

*Heat exchanger* tipe ini menggunakan sebuah komponen solid yang berfungsi sebagai penyimpan panas yang berasal dari fluida panas yang melewatinya. Fluida panas yang melewati bagian ini akan sedikit terhalang alirannya sehingga kecepatan aliran fluida panas ini akan menurun, dan panas yang terkandung di dalamnya dapat lebih efisien diserap oleh padatan tersebut. Selanjutnya fluida dingin mengalir melalui saluran pipa-pipa yang dialirkan melewati padatan penyimpan panas tersebut, dan secara bertahap panas yang terkandung di dalamnya ditransfer ke fluida dingin.

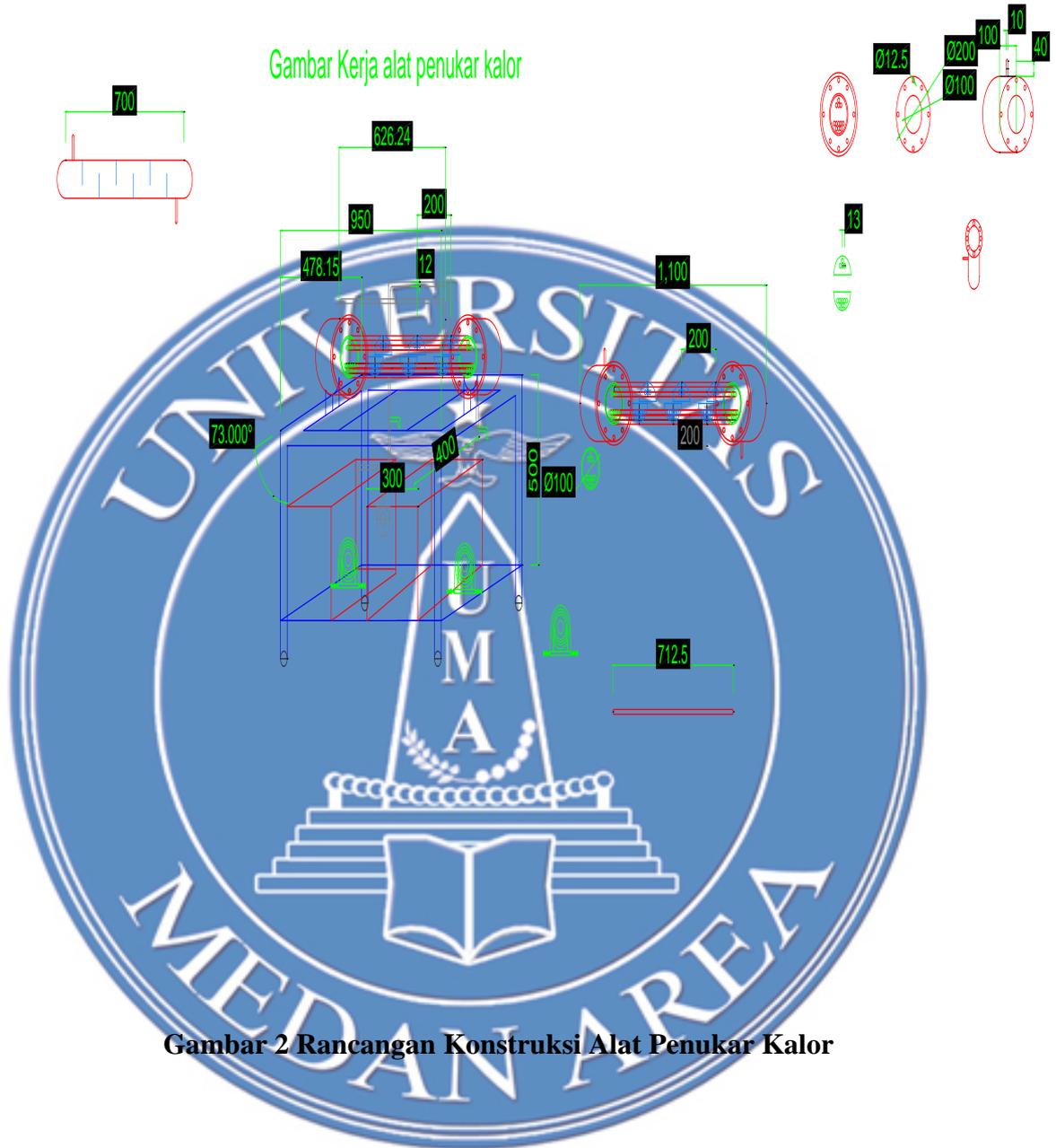


Jenis – jenis gambar alat penukar kalor

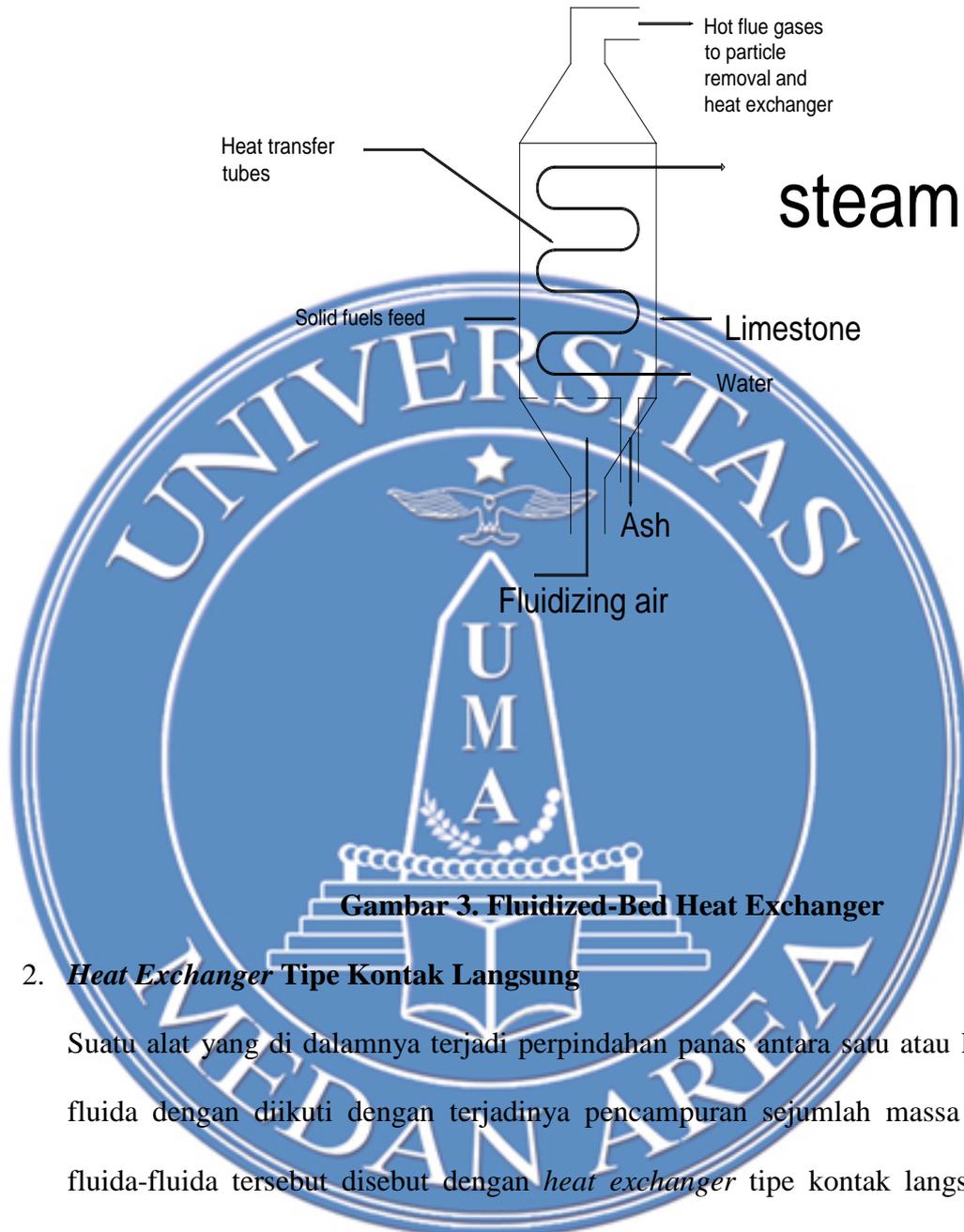


**Gambar 1 Sistem Kerja Alat Penukar Kalor**

Gambar Kerja alat penukar kalor



Gambar 2 Rancangan Konstruksi Alat Penukar Kalor



**Gambar 3. Fluidized-Bed Heat Exchanger**

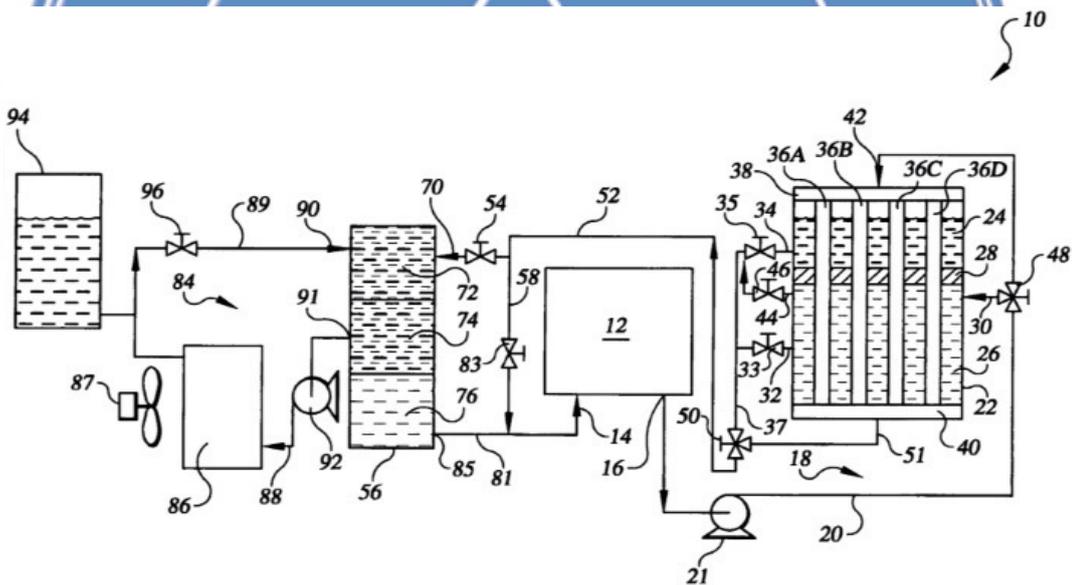
## 2. *Heat Exchanger* Tipe Kontak Langsung

Suatu alat yang di dalamnya terjadi perpindahan panas antara satu atau lebih fluida dengan diikuti dengan terjadinya pencampuran sejumlah massa dari fluida-fluida tersebut disebut dengan *heat exchanger* tipe kontak langsung. Perpindahan panas yang diikuti pencampuran fluida-fluida tersebut, biasanya diikuti dengan terjadinya perubahan fase dari salah satu atau labih fluida kerja tersebut. Terjadinya perubahan fase tersebut menunjukkan terjadinya perpindahan energi panas yang cukup besar. Perubahan fase tersebut juga

meningkatkan kecepatan perpindahan panas yang terjadi. Macam-macam dari *heat exchanger* tipe ini antara lain adalah:

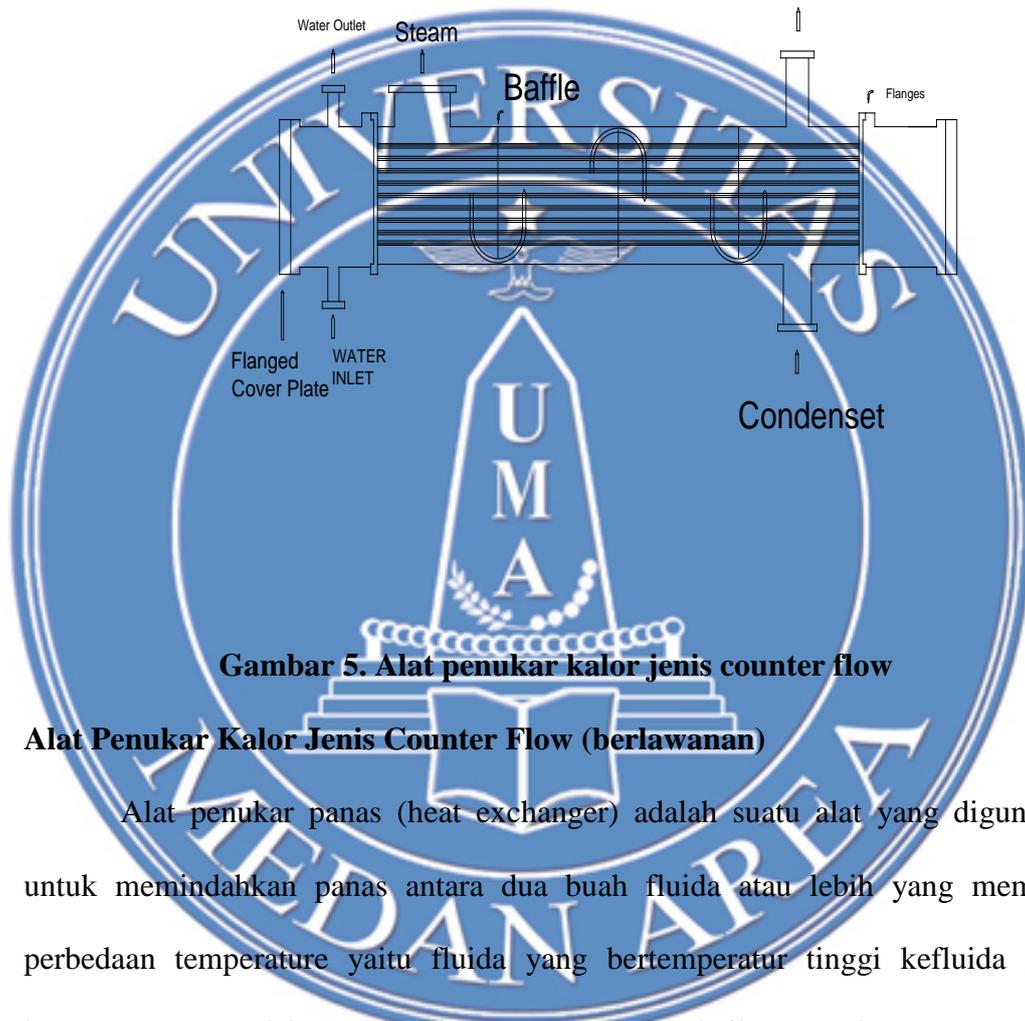
- o *Immiscible Fluid Exchangers*

*Heat exchanger* tipe ini melibatkan dua fluida dari jenis berbeda untuk dicampurkan sehingga terjadi perpindahan panas yang diinginkan. Proses yang terjadi kadang tidak akan mempengaruhi fase dari fluida, namun bisa juga diikuti dengan proses kondensasi maupun evaporasi. Salah satu penggunaan *heat exchanger* ini adalah pada sebuah alat pembangkit listrik tenaga surya berikut.



Gambar 4. *Immiscible Fluid Exchangers*

## Tipe alat penukar kalor single pass



**Gambar 5. Alat penukar kalor jenis counter flow**

### **Alat Penukar Kalor Jenis Counter Flow (berlawanan)**

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. 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 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 :

- 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.

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 plat, shell and tube, spiral dll. Pada kebanyakan kasus penukar kalor tipe plat mempunyai efektivitas perpindahan panas yang lebih bagus.

Menurut para ahli intan nurul hokimih 2008 tentang Klasifikasi Alat Penukar Kalor Adapun klasifikasi dari alat penukar kalor dapat dibagi dalam beberapa kelompok yaitu Berdasarkan konstruksinya

1. Tabung (tubular)
2. Plate-Type
3. Extended Surface
4. Regenerative

Berdasarkan pengaturan aliran

1. Single Pass
2. Multi Pass

Berdasarkan jenis aliran

1. Aliran Berlawanan Arah
2. (Counter Flow)
3. Alira Sejajar (Parallel Flow)
4. Aliran Silang (Cross Flow)
5. Aliran Terpisah (Split Flow)

## 6. Aliran Bercabang (Divide Flow)

Berdasarkan banyaknya laluan

1. Seluruh Cross-counter flow
2. Seluruh cross-parallel flow
3. Parallel counter flow

Berdasarkan mekanisme perpindahan panas

1. Konveksi satu fasa (dengan konveksi paksa atau alamiah)
2. Konveksi dua fasa (dengan konveksi paksa atau alamiah)
3. Kombinasi perpindahan panas

Adapun bentuk dari alat penukar kalor pada industri antara lain :

- a) Alat Penukar Kalor Shell dan Tube
- b) Alat Penukar Kalor Coil dan Box
- c) Alat Penukar Kalor Double dan Pipe
- d) Alat Penukar Kalor type Plate

Seperti yang telah dikemukakan dalam pendahuluan terdapat banyak sekali jenis-jenis alat penukar kalor. Maka untuk mencegah timbulnya kesalah pahaman maka alat penukar kalor dikelompokan berdasarkan fungsinya :

### 1. 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

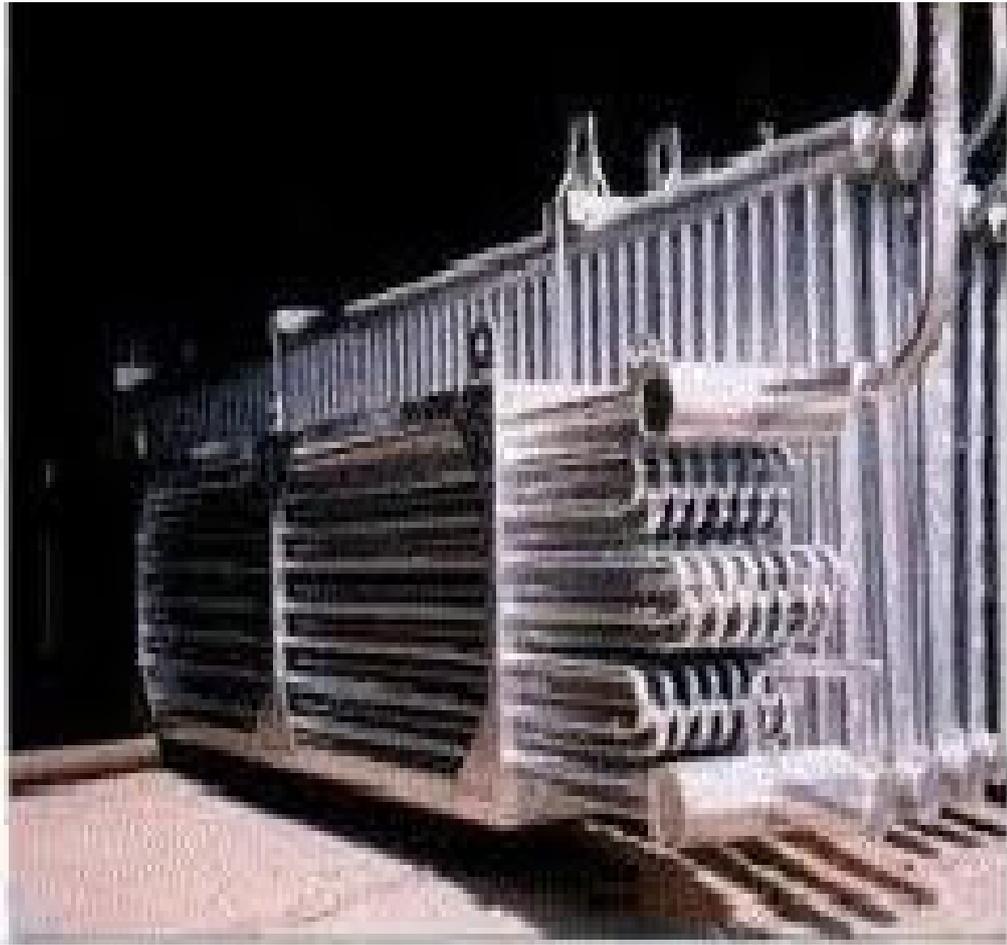
dengan pendingin air. Untuk chiller ini media pendingin biasanya digunakan amoniak atau Freon.



**Gambar 6. Chiller**

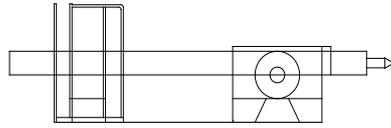
## 2. Kondensor

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.



**Gambar 7. Kondensor**

3. 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).



Gambar 4 Direct Evaporative cooler



Gambar 5 Indirect Evaporative Cooler

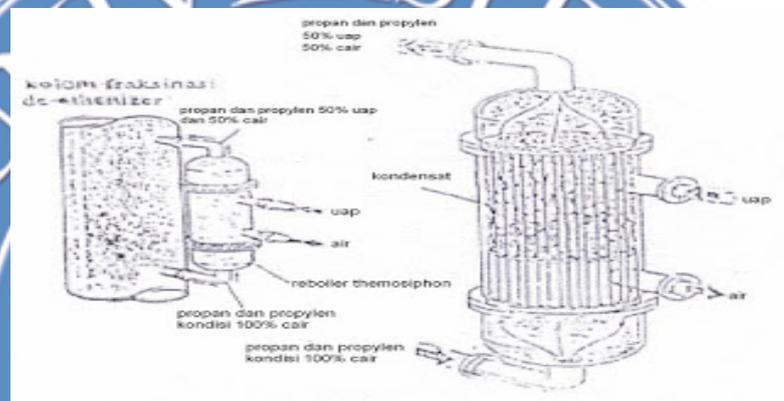
**Gambar 8. Evaporator**

4. 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.



**Gambar 9. Reboiler**

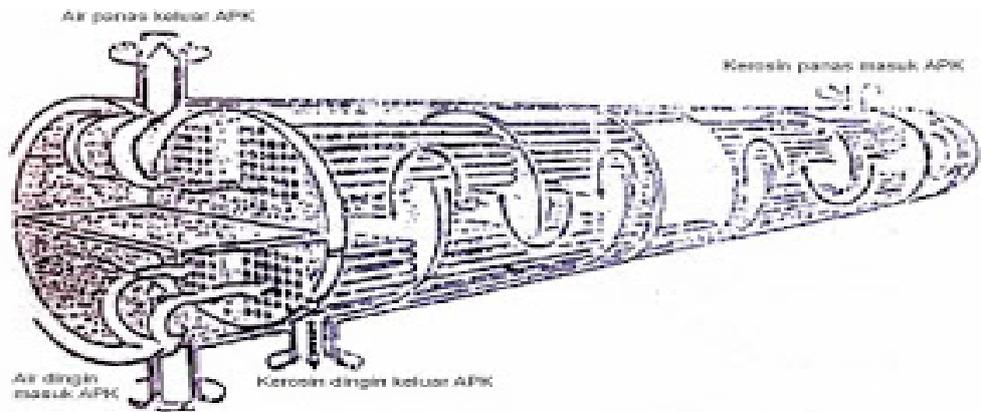
5. Reboiler, alat penukar kalor ini berfungsi mendidihkan kembali (reboil) serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Adapun media pemanas yang sering digunakan adalah uap atau zat panas yang sedang diproses itu sendiri. Hal ini dapat dilihat pada penyulingan minyak pada ambar 2.1, diperlihatkan sebuah reboiler dengan mempergunakan minyak (665 0F) sebagai media penguap, minyak tersebut akan keluar dari boiler dan mengalir didalam tube.



**Gambar 10. Reboiler**

6. Heat Exchanger, alat penukar kalor ini bertujuan untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida yang lain. Maka akan terjadi dua fungsi sekaligus, yaitu :
- Memanaskan fluida
  - Mendinginkan fluida yang panas

Suhu yang masuk dan keluar kedua jenis fluida diatur sesuai dengan kebutuhannya. Pada gambar diperlihatkan sebuah heat exchanger, dimana fluida yang berada didalam tube adalah air, disebelah luar dari tube fluida yang mengalir adalah kerosene yang semuanya berada didalam shell.



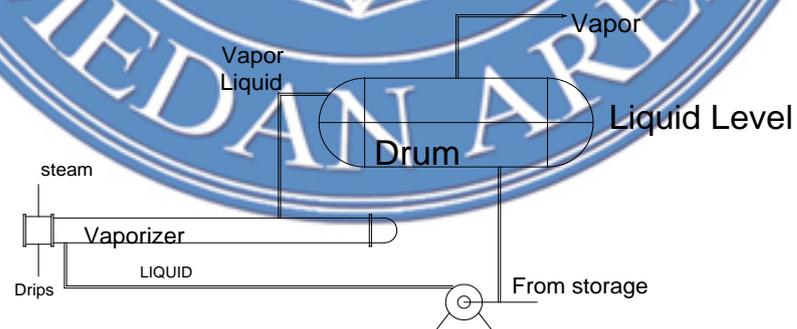
Gambar. Konstruksi Heat Exchanger

### Gambar 11. Heat exchanger

7. Vaporizer Secara umum vaporizer digunakan untuk menguapkan cairan. Uap yang dihasilkan digunakan untuk proses kimia, bukan sebagai sumber panas seperti halnya steam dan menggunakan elemen pemanas listrik.

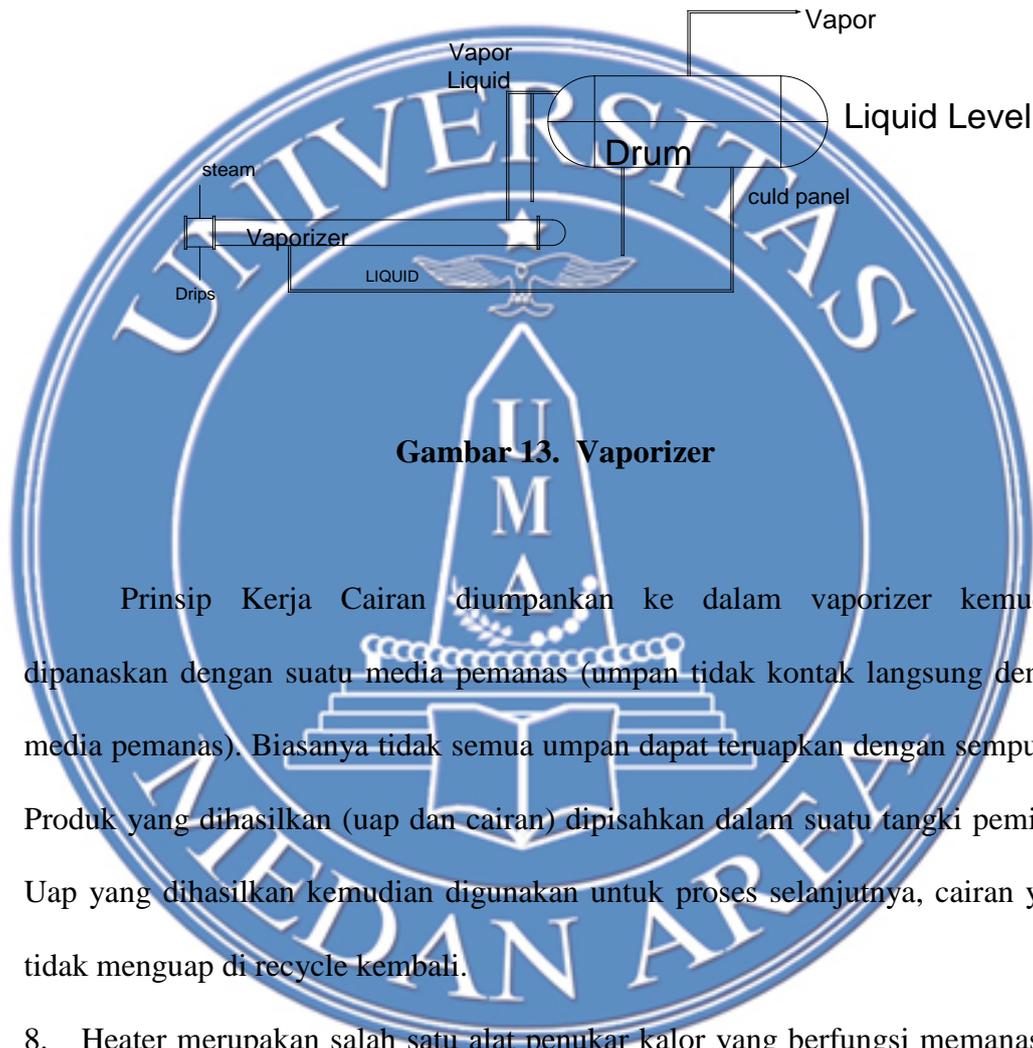
Jenis-Jenis Vaporizer :

1. Vaporizer dengan sirkulasi paksa Cairan diumpankan ke dalam vaporizer dengan menggunakan pompa.



Gambar 12. Vaporizer

2. Vaporizer dengan sirkulasi alamiah Cairan umpan dapat mengalir sendiri dalam vaporizer dengan bantuan gaya gravitasi.



**Gambar 13. Vaporizer**

Prinsip Kerja Cairan diumpankan ke dalam vaporizer kemudian dipanaskan dengan suatu media pemanas (umpan tidak kontak langsung dengan media pemanas). Biasanya tidak semua umpan dapat teruapkan dengan sempurna. Produk yang dihasilkan (uap dan cairan) dipisahkan dalam suatu tangki pemisah. Uap yang dihasilkan kemudian digunakan untuk proses selanjutnya, cairan yang tidak menguap di recycle kembali.

8. Heater merupakan salah satu alat penukar kalor yang berfungsi memanaskan fluida proses, dan sebagai bahan pemanas alat ini menggunakan steam.

The logo of Universitas Medan Area is a circular emblem. It features a central shield with a book and a lamp, topped with a star. The shield is flanked by two figures. The word 'UNIVERSITAS' is written in an arc at the top, and 'MEDAN AREA' is written in an arc at the bottom. The background of the logo is blue with white text and symbols.

**Gambar 14. Heater**

Klasifikasi penukar kalor berdasarkan susunan aliran fluida Yang dimaksud dengan susunan aliran fluida di sini 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). Holman, J.P. 1994. *Perpindahan Kalor*

- a. Pertukaran panas dengan aliran searah (co-current/parallel flow) yaitu apabila 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 mengalir dengan arah yang sama. Karakter penukar panas jenis ini temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dibanding yang menerima energi sejak mulai memasuki penukar kalor hingga keluar
- b. Pertukaran panas dengan aliran berlawanan arah (counter current / flow) yaitu bila kedua fluida mengalir dengan arah yang saling berlawanan dan keluar pada sisi yang berlawanan. Pada tipe ini masih mungkin terjadi bahwa temperatur fluida yang menerima panas (temperatur fluida dingin) saat keluar

penukar kalor ( $T_4$ ) lebih tinggi dibanding temperatur fluida yang memberikan kalor (temperatur fluida panas) saat meninggalkan penukar kalor

- c. Pertukaran panas dengan aliran silang ( cross flow ) Artinya 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 Heat Exchanger Tipe Plat Heat exchanger tipe plat adalah jenis penukar panas yang menggunakan pelat logam untuk mentransfer panas antara dua cairan. Ini memiliki keuntungan besar atas suatu penukar panas konvensional dalam bahwa cairan yang terkena luas permukaan jauh lebih besar karena cairan menyebar di plat. Ini memfasilitasi transfer panas, dan sangat meningkatkan kecepatan perubahan suhu. Plat penukar panas yang sekarang umum dan versi dibrazing sangat kecil yang digunakan dalam air panas bagian dari jutaan kombinasi boiler. Konsep di balik penukar panas adalah penggunaan pipa atau pembuluh penahanan lain untuk panas atau dingin satu cairan dengan mentransfer panas antara itu dan cairan lain. Dalam kebanyakan kasus, penukar terdiri dari pipa melingkar berisi satu fluida yang melewati ruang berisi cairan lain. Dinding pipa

biasanya terbuat dari logam, atau zat lain dengan konduktivitas panas yang tinggi, untuk memfasilitasi pertukaran, sedangkan casing luar ruang yang lebih besar adalah terbuat dari plastik atau dilapisi dengan isolasi termal, untuk mencegah panas dari melarikan diri dari exchanger. Kontruksi Heat Exchanger Tipe Plat Pelat penukar panas (PHE) adalah desain khusus cocok untuk mentransfer panas antara cairan menengah dan tekanan rendah. Dilas, semi-dilas dan penukar panas dibrazing digunakan untuk pertukaran panas antara cairan bertekanan tinggi atau di mana produk yang lebih kompak diperlukan. Untuk konstruksi heat exchanger tipe plat yang dibuat, dapat ditunjukkan pada gambar dibawah; Copy the BEST Traders and Make

Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung atau tidak. Maksudnya adalah :

- APK yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur langsung dengan fluida yang dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu.
- APK yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (indirect contact) dengan fluida dingin, jadi perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya.

### **Jenis-Jenis Alat Penukar Kalor**

Dalm standard mekanika TEMA (Tubular Exchanger Manufacture Association), terdapat (2) dua macam kelas Heat Exchanger, yaitu :

1. kelas R, yaitu peralatan yang bekerja dengan kondisi yang berat, misalnya untuk industri minyak dan industri kimia berat.
2. Kelas C, yaitu yang dibuat untuk “General Purpose” dengan didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil, digunakan untuk proses-proses umum diindustri.

Jenis-jenis Heat Exchanger yang terdapat didalam industri perminyakan dapat dibedakan atas :

### **Jenis Shell and Tube**

Menurut para ahli Chengel, Yunus A. 202. *Heat Transfer*. Jenis ini merupakan yang paling banyak digunakan dalam industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah shell (tabung/silinder) dimana didalamnya terdapat satu bundle (berkas) pipa dengan diameter yang relative kecil. Pada jenis ini tiap pipa mempunyai shell sendiri. Untuk menghindari tempat yang terlalu panjang, Heat Exchanger ini dibentuk menjadi U. Pada beberapa keperluan khusus, bagian pipa luar diberi sirip.

### **Koil Pipa**

Heat Exchanger ini mempunyai pipa berbentuk koil yang dibenamkan disebuah “box” berisi air dingin yang mengalir atau air yang desempotkan untuk mendinginkan fluida panas yagn mengalir didalam pipa.

## **Pipa Terbuka (Opentube Section)**

Pada Heat Exchanger ini pipa-pipa tidak ditempatkan lagi didalam shell

Penukar panas atau dalam industri kimia populer dengan istilah bahasa Inggrisnya, *heat exchanger* (HE), adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun sebagai pendingin. Biasanya, medium pemanas yang dipakai adalah uap lewat panas (*super heated steam*) dan air biasa sebagai air pendingin (*cooling water*). Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien.

### **2.1.1. klasifikasi alat penukar kalor.**

Putra JA 2010 mengatakan Alat penukar kalor dapat diklasifikasikan berdasarkan bermacam-macam pertimbangan, yaitu :

1. Klasifikasi berdasarkan proses perpidahan panas.

1. Tipe kontak tidak langsung.
  - a. Tipe yang langsung dipindahkan.
  - b. Tipe satu fase.
  - c. Tipe banyak fase.
  - d. Tipe yang ditimbang
  - e. Tipe fluidized bed.

2. Tipe yang kontak langsung.

- a. Immiscible fluids.
- b. Gas liquid.

c. Liquid vapor.

2. Klasifikasi berdasarkan jumlah fluida yang mengalir.

a. Dua jenis fluida .

b. Tiga jenis fluida.

c. N-jenis fluida.

3. Klasifikasi Berdasarkan Kompaknya Permukaan .

1. Tipe penukar kalor yang kompak ,density luas permukaannya  $> 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

2. Tipe penukar kalor yang tidak kompak,density luas permukaannya  $< 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ .

4. Klasifikasi berdasarkan mekanisme perpindahan panas.

1. Dengan cara konveksi,satu fase pada kedua sisi alirannya.

2. Dengan cara konveksi pada satu sisi aliran dan pada sisi yang lainnya terdapat cara konveksi dua aliran.

3. Dengan cara konveksi pada kedua sisi alirannya serta masing-masing terdapat dua pass aliran.

4. Kombinasi cara konveksi dan radiasi.

5. Klasifikasi Berdasarkan Konstruksi.

1. konstruksi tubular (shell and tube).

1. Pipa ganda (Double tube).

2. Konstruksi shell and tube.

a. Sekat plat (plat baffle).

b. Sekat batang (rod baffle).

c. Konstruksi tube spiral.

2. Konstruksi tipe plat.

1. Tipe plat.
2. Tipe lamella.
3. Tipe spiral.
4. Tipe plat koil.

3. Konstruksi dengan luas permukaan diperluas ( extended surface ).

1. Sirip plat ( plat fin ).
2. Sirip tube ( tube fin ).
  - a. Heat pipe wall.
  - b. Ordinary separating wall.
4. Regeneratif.
  1. Tipe rotary.
  2. Tipe disk ( piringan ).
  3. Tipe drum.
  4. Tipe matrik tetap.

6. Klasifikasi Berdasarkan pengaturan aliran.

1. Aliran dengan satu pass.
  1. Aliran berlawanan arah.
  2. Aliran parallel.
  3. Aliran melintang.
  4. Aliran split.
  5. Aliran yang dibagi ( divided ).

## 2. aliran multi pass.

### 1. Permukaan yang diperbesar (extended surface).

- a. Aliran counter menyilang.
- b. Aliran paralel menyilang.
- c. Aliran compound

### 2. Shell and tube.

- a. Aliran paralel yang berlawanan (M pass pada shell dan N pass pada tube).
- b. Aliran Split.
- c. Aliran dibagi (divided).

### 3. Multi pass plat .

- a. N-paralel plat multipass.

## 1. Prinsip dan Teori Dasar Perpindahan Panas

Panas adalah salah satu bentuk energi yang dapat dipindahkan dari suatu tempat ke tempat lain, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan sama sekali. Dalam suatu proses, panas dapat mengakibatkan terjadinya kenaikan suhu suatu zat dan atau perubahan tekanan, reaksi kimia dan kelistrikan.

Proses terjadinya perpindahan panas dapat dilakukan secara langsung, yaitu fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin tanpa adanya pemisah dan secara tidak langsung, yaitu bila diantara fluida panas dan fluida dingin tidak berhubungan langsung tetapi dipisahkan oleh sekat-sekat pemisah. Pada umumnya perpindahan panas dapat berlangsung melalui 3 cara yaitu secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

a. Konduksi (hantaran)

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, tenaganya dilimpahkan kepada molekul di sekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat maka akan memberikan panas.

Panas dipindahkan sebagai energi kinetik dari suatu molekul ke molekul lainnya, tanpa molekul tersebut berpindah tempat. Cara ini nyata sekali pada zat padat.

Daya hantar panas konduksi (k) tiap zat berbeda-beda. Chengel Yunus A mengatakan bahwa rumus daya hantar tinggi disebut penghantar panas (konduktor panas) dan yang rendah adalah penyekat panas (isolator panas). Holman JP, 1994

$$Q = k * A * (T_1 - T_2) / X$$

A : luas bidang perpindahan panas

X : Panjang jalan perpindahan panas (tebal)

q ; panas yang dipindahkan

b. Konveksi (aliran/edaran)

Perpindahan panas dari suatu zat ke zat yang lain disertai dengan gerakan partikel atau zat tersebut secara fisik.

Panas dipindahkan oleh molekul-molekul yang bergerak (mengalir). Oleh karena adanya dorongan bergerak. Disini kecepatan gerakan (aliran) memegang peranan penting. Konveksi hanya terjadi pada fluida

$$Q = h * A * (T_2 - T_1)$$

$h$  = koefisien perpindahan panas suatu lapisan fluida.

$Q$  = panas yang dipindahkan

$A$  = luas perpindahan panas

Dalam melaksanakan operasi perpindahan panas, perlu diperhitungkan:

- jumlah panas yang dipindahkan ( $q$ )
- perbedaan suhu ( $T$ )
- tahanan terhadap perpindahan panas ( $R$ ).

Persamaan utama yg menghubungkan besaran – besaran diatas adalah::

$$q = A * (T_2 - T_1) / R = U * A * (T_2 - T_1)$$

$q$  = jumlah panas yang dipindahkan

$R$  = tahanan terhadap perpindahan panas

$U = 1/R$  = Koefisien perpindahan panas keseluruhan, gabungan antara konduksi dan konveksi ( $k.W / m^2. C$ )

Harga  $U$  atau  $R$  tergantung pada :

- Jenis zat (daya hantar)
- Kecepatan aliran
- Ada tidaknya kerak.

c. Radiasi (pancaran)

Perpindahan panas tanpa melalui media (tanpa melalui molekul). Suatu energi dapat dihantarkan dari suatu tempat ke tempat lainnya (dari benda panas ke benda yang dingin) dengan pancaran gelombang elektromagnetik dimana tenaga elektromagnetik ini akan berubah menjadi panas jika terserap oleh benda yang lain. Gambar 1. Perpindahan Kalor pada Heat Exchanger Panas dipancarkan dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Perpindahan seperti ini tidak memerlukan zat antara/media.

$$Q = \sigma \cdot T^4$$

Q = jumlah panas yang dipancarkan

T = suhu mutlak

$\sigma$  = tetapan Stefan – Boltzman, = 4,92 kkal / (jam. m<sup>2</sup>.K<sup>4</sup>)

d. Hubungan U dengan k dan h

$$1/U = 1/h_a + x/k + 1/h_b$$

Atau

$$R = R_a + R_k + R_b$$

Adanya kotoran/endapan (kerak) akan memperbesar tahanan terhadap perpindahan panas atau memperkecil U, sehingga persamaan menjadi:

$$1/U = R = R_a + R_k + R_b + R_f$$

R<sub>f</sub> : tahanan karena fouling (kotoran)

e. Isolasi Panas

Mencegah kehilangan panas alat –alat, pipa-pipa steam/gas yang bersuhu tinggi ke sekeliling yang suhunya lebih rendah, atau sebaliknya.

Untuk alat-alat dengan suhu rendah, isolasi mencegah masuknya panas karena suhu sekitarnya yang lebih tinggi. Isolasi juga mencegah bahaya yang dapat timbul bila orang menyentuh permukaan benda yang panas atau dingin sekali.

f. Perbedaan Suhu Rata-rata

Dalam perpindahan panas perbedaan suhu mengendalikan laju pemindahan panas. Suhu fluida dalam alat sering tidak tetap. Untuk perhitungan digunakan perbedaan suhu rata-rata.

$$\Delta T = \frac{(T_2 - t_2) - (T_1 - t_1)}{\ln (T_2 - t_2) / (T_1 - t_1)}$$

Perbedaan suhu ini disebut perbedaan suhu rata-rata logaritma (log mean temperature difference) disingkat LMTD

$$Q = U * A * (\Delta T)_{LMTD}$$

Pada dasarnya prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda di mana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung.

1. Secara kontak 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.

2. Secara kontak tak langsung

Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

3. Jenis – jenis Heat Exchanger

Ada beberapa jenis heat exchanger yang banyak digunakan dalam industri, yaitu:

a. 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 di kedua 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 ).

b. 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.

**1) Tubes**

Pipa yang digunakan dalam heat exchanger bukanlah pipa – pipa biasa, tetapi pipa-pipa yang khusus dibuat untuk heat exchanger, dibuat dari berbagai material. Umumnya digunakan pipa berukuran diameter luar  $\frac{3}{4}$  inch atau 1 inch. Tetapi tersedia juga pipa-pipa dengan diameter luar  $\frac{1}{4}$ ; 1,75; 1,50 inch. Tebal pipa dinyatakan dengan kode BWG (Birmingham Wire Gauge). Makin besar bilangan BWG, makin tipis pipanya.

Misalnya : untuk pipa 1 inch

BWG 8 mempunyai tebal 0,165 inch

BWG 10 mempunyai tebal 0,134 inch

BWG 16 mempunyai tebal 0,065

Tersedia BWG mulai dari 8 sampai 18.

Tube terpasang pada tube – sheet dengan pitch 1,25 DO (diameter luar).

Formasi pipa dapat membentuk segitiga atau bujur sangkar.

## 2) **Shell**

Biasanya digunakan baja karbon untuk ukuran kecil dapat digunakan pada standar baja karbon. Untuk ukuran besar dibuat dari pelat yang di roll atau di- las. Untuk heat exchanger yang tidak beroperasi pada tekanan tinggi biasa digunakan :

Tebal  $\frac{3}{8}$  in untuk diameter 13 in

Tebal  $\frac{7}{8}$  in untuk diameter 31 in

Sering diberi kelebihan  $\frac{1}{8}$  in untuk kemungkinan korosi.

## 3) **Baffle**

Dipasang dengan tujuan untuk mengarahkan aliran didalam shell, sehingga seluruh bagian terkena aliran. Adanya baffle juga memperbesar dan membuat turbulen aliran sehingga didapatkan koefisien perpindahan panas yang besar. Luas baffle lebih kurang 75% penampang shell. Spasi antar baffle tidak lebih dekat dari  $\frac{1}{5}$  diameter shell, bila terlalu dekat akan didapat kehilangan tekanan yang besar.

Ada beberapa tipe aliran pada Alat Penukar Panas

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

- a. Counter current flow (aliran berlawanan arah)
- b. Paralel flow/co current flow (aliran searah)
- c. Cross flow (aliran silang)
- d. Cross counter flow (aliran silang berlawanan)

- a. 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.

- c. SDAdiabatic wheel heat exchanger

Jenis keempat penukar panas menggunakan intermediate cairan atau toko yang solid untuk menahan panas, yang kemudian pindah ke sisi lain dari penukar panas akan dirilis. Dua contoh ini adalah roda adiabatik, yang terdiri dari roda besar dengan benang halus berputar melalui cairan panas dan dingin, dan penukar panas cairan.

- d. 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.

e. 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.

f. Phase-change heat exchanger

Selain memanaskan atau pendinginan cairan hanya dalam satu fasa, penukar panas dapat digunakan baik untuk memanaskan cairan menguap (atau mendidih) atau digunakan sebagai kondensor untuk mendinginkan uap dan mengembun ke cairan. Pada pabrik kimia dan kilang, reboilers digunakan untuk memanaskan umpan masuk untuk menara distilasi sering penukar panas .

Distilasi set-up biasanya menggunakan kondensor untuk mengkondensasikan uap distilasi kembali ke dalam cairan. Pembangkit tenaga listrik yang memiliki uap yang digerakkan turbin biasanya menggunakan penukar panas untuk

Heat exchanger atau unit serupa untuk memproduksi uap dari air yang sering disebut boiler atau generator uap. Dalam pembangkit listrik tenaga nuklir yang disebut reaktor air bertekanan, penukar panas khusus besar yang melewati panas dari sistem (pabrik reaktor) primer ke sistem (pabrik uap) sekunder, uap memproduksi dari air dalam proses, disebut generator uap. Semua pembangkit listrik berbahan bakar fosil dan nuklir menggunakan uap yang digerakkan turbin memiliki kondensor permukaan untuk mengubah uap gas buang dari turbin ke kondensat (air) untuk digunakan kembali.

Untuk menghemat energi dan kapasitas pendinginan dalam kimia dan tanaman lainnya, penukar panas regeneratif dapat digunakan untuk mentransfer panas dari satu aliran yang perlu didinginkan ke aliran yang perlu dipanaskan, seperti pendingin distilat dan pakan reboiler pra-pemanasan.

Istilah ini juga dapat merujuk kepada penukar panas yang mengandung bahan dalam struktur mereka yang memiliki perubahan fasa. Hal ini biasanya padat ke fase cair karena perbedaan volume kecil antara negara-negara ini. Perubahan fase efektif bertindak sebagai buffer karena terjadi pada suhu konstan tetapi masih memungkinkan untuk penukar

panas untuk menerima panas tambahan. Salah satu contoh di mana ini telah diteliti untuk digunakan dalam elektronik pesawat daya tinggi.

### **Komponen Heat Exchanger**

Pemindahan panas dalam heat exchanger dilakukan dengan mengkontakkan dua fluida melalui suatu bidang pemanas. Fluida pemanas atau pendingin berada dalam suatu jaket, didalam pipa atau diluar pipa. Luas bidang pemanas harus cukup (sesuai persamaan perpindahan panas dan kebutuhan panas.

Adapun komponen-komponen dari heat exchanger antara lain:

1. Heat Exchanger (HE)

Alat untuk memanfaatkan panas suatu aliran fluida bagi pemanasan aliran fluida lainnya.

2. Heater

Untuk memanaskan (menaikkan suhu) suatu fluida proses. Sebagai pemanas digunakan steam atau fluida panas lain yang ada.

3. Cooler

Untuk pendinginan (menurunkan suhu) suatu fluida proses. Sebagai pendingin digunakan air, udara, atau fluida lain yg perlu dipanaskan.

. Aliran Multi Pass

Alir fluida dalam tube sering dibuat beberapa kali melewati shell. Dengan cara ini penampang aliran dalam tube menjadi lebih kecil dan laju linier menjadi besar, sehingga diperoleh koefisien perpindahan panas besar.

#### D. Aspek Operasi dan Pemeliharaan

Salah satu masalah utama dalam pemeliharaan HE adalah pengendapan kotoran (fouling) pada permukaan bidang perpindahan panas. Hal ini menyebabkan peningkatan tahanan panas ( koef perpindahan panas mengecil). Fouling juga menambah tahanan terhadap aliran fluida. Bertambahnya tahanan memperbesar beda suhu rata-rata(LMTD).

Endapan yang membentuk kerak pada suatu tempat dapat mengakibatkan pemanasan (meningkatkan suhu) yang berlebihan pada suatu tempat dan dapat merusak pipa/tube (over heating).

Biasanya "shell and tube heat exchanger" dirancang dengan luas bidang pemanas yang berlebihan dari seharusnya sehingga penurunan koefisien perpindahan panas tidak langsung mengakibatkan penyimpangan besar kinerja(performance) heat exchanger tersebut.

Bila fouling telah melewati harga tertentu ( kerak semakin tebal), kemampuan pelat/pipa sudah tidak lagi sebagaimana disyaratkan. Sebelum hal ini terjadi, alat harus segera dihentikan untuk dibersihkan keraknya.

Kinerja (kemampuan kerja) heat exchanger dapat dievaluasi dengan membuat neraca panas. Untuk itu dikumpulkan data. Untuk memudahkan penetapan kapan penghentian harus dilakukan, dapat dilakukan pengamatan perubahan LMTD dan kehilangan tekanan pada tube (lihat grafik  $\Delta P$  atau  $\Delta T$  LMTD terhadap waktu. HE

Bila  $\Delta P$  dan / atau LMTD telah mencapai suatu harga tertentu, berarti fouling sudah cukup banyak dan harus dihentikan untuk dibersihkan.

Tiap heat exchanger punya harga batasnya sendiri-sendiri yangb berlainan dan perlu diamati untuk menetapkan jadwal pemvbersihan, operasi yang tepat (sesuai petunjuk yang diberikan) akan memperpanjang selang waktu pembersihan dan umur heat exchanger.

Saat yang paling menentukan justru pada saat "start Up" dan "shut down", pada saat ini bisa terjadi kejutan panas (perubahan panas tiba-tiba) dan hantaran hidrolik yang dapat menimbulkan tegangan berlebihan dan tidak seimbang yang dapat merusak sambungan-sambungan, pipa, packing dan atau timbul kebocoran. Laju alir dalam shell yang terlalu besar (berlebihan dari seharusnya) dapat menimbulkan vibnrasi (getaran) yang sangat membahayakan.

### **2.1.2. Konstruksi Alat Penukar Kalor.**

Ditinjau dari segi konstruksi alat penukar kalor jenis shell and tube,maka secara umum konstruksinya dibagi dalam 4 bagian, yaitu :

1. Bagian depan yang tetap atau Front End Stationary Head.
2. Shell atau badan alat penukar kalor.
3. Bagian ujung belakang atau Rear End Head.
4. Berkas tube atau tube bundle, kumpulan tube yang dimasukkan ke dalam tube alat penukar kalor.

Di dalam TEMA standar, masing masing bagian tersebut (kecuali no 4) telah diberi kode masing-masing dengan mempergunakan huruf. Bagian depan yang tetap (Front End Stationary) terdiri dari 4 tipe E,F,G,H,J dan K. Bagian ujung belakang (rear and head) alat penukar terdiri dari 8 tipe,yaitu :

L,M,N,P,S,T,U, dan W (konstruksi tema standart akan dilampirkan dilembaran lampiran.

### **2.1.3. Dimensi Alat Penukar Kalor**

Untuk menentukan dimensi dari alat penukar kalor, maka harus diketahui beberapa hal, seperti diameter nominal, panjang nominal, tipe penukar kalor, dan lain –lain. Adapun cara untuk memberikan ukuran pada alat penukar kalor adalah :

#### **1. Diameter nominal**

Diameter nominal adalah diameter bagian dalam dari shell, yang dinyatakan dalam inchi. angka ukuran ini merupakan pembulatan terdekat.

#### **2. Panjang nominal**

Panjang nominal adalah ukuran panjang dari pipanya, pipa sebenarnya. Untuk pipa atau tube dengan bentuk U, panjang tube adalah panjang dari bagian lurus sampai ke bagian yang bengkok (to bend tangen).

#### **3. Tipe alat penukar kalor**

Untuk menentukan tipe ini, caranya dengan menggabungkan salah satu huruf dari masing-masing alat penukar kalor itu. misalnya dalah tipe BEM, tipe AES, tipe BGU, tipe AFM. dan tipe CEN.

### **2.1.4. Aliran Fluida Dan Distribusi Temperature Pada Alat Penukar Kalor**

Tieft renvile 2010 mengatakan apabila ditinjau aliran fluida alat penukar kalor, maka dapat dibagi dalam 3 macam aliran, yaitu :

1. Aliran sejajar atau parallel flow.
2. Aliran berlawanan atau counter flow.
3. Aliran kombinasi, gabungan aliran sejajar dan berlawanan.

Aliran fluida dan distribusi temperature pada penukar kalor dapat dibagi atas :

1. Aliran dan distribusi temperature alat penukar kalor yang langsung pada alat penukar kalor jenis ini, temperature akhir fluida panas dan fluida dingin menjadi sama karena kedua jenis fluida tersebut akan membentuk campuran (terandung) keluar dari alat penukar kalor itu. Hal ini berarti, panas yang diberikan oleh fluida panas diterima secara utuh atau 100% oleh fluida dingin, tanpa ada kerugian panas berlawanan arah.
2. Aliran dan distribusi temperature alat penukar kalor yang tidak langsung. Pada jenis alat penukar kalor ini, tube berfungsi sebagai pemisah antara fluida panas dengan fluida dingin. Untuk itu perlu pertimbangan yang matang, untuk menentukan fluida mana yang mengalir melalui pipa, apakah fluida panas atau dingin.

Ditinjau dari perubahan fase yang terjadi pada alat penukar kalor ini, maka jenis ini dapat dikelompokkan dalam 2 kelompok, yaitu :

1. Alat penukar kalor yang mengakibatkan perubahan fase .
  2. Alat penukar kalor tanpa perubahan fase.
1. Alat penukar kalor yang mengakibatkan perubahan fase

Ada dua perlakuan yang umum terjadi, yaitu :

- a. Kondensasi uap didalam kondensor.
- b. Penguapan larutan di dalam pesawat penguapan atau evaporator.

a. Aliran dan distribusi temperature

Dalam aliran perpindahan panas terjadi perubahan fase uap menjadi fase air. Ini terjadi karena uap basah (saturated steam) itu memberikan panas yang dikandung (latent head) kepada air pendingin. Temperature air dingin biasanya sama dengan temperature udara luar, sebab air pendingin yang dipergunakan umumnya adalah air sungai atau air laut

b. Distribusi temperature pada evaporator

Kalau pada kondensor terjadi perubahan fase uap menjadi air kondensat, maka pada pesawat evaporator terjadi sebaliknya.

Disini terjadi perubahan fase cairan menjadi uap dengan mempergunakan panas media lain. Penguapan terjadi pada temperature tetap.

2. Alat penukar kalor tanpa perubahan fase

pada alat penukar Kalor ini, fluida panas memberikan panas kepada fluida dingin, namun kedua jenis fluida ini tidak mengalami perubahan fase, tetapi akan mengalami penurunan suhu (fluida panas) kenaikan suhu (fluida dingin). Aliran fluida panas maupun fluida dingin dalam alat penukar kalor saling melintasi satu sama lain tidak hanya satu kali saja, tetapi dapat dibuat beberapa kali. lintasan aliran fluida (baik yang panas maupun yang dingin) pada alat penukar kalor disebut pass biasanya shell pass ini lebih sedikit dari tubes pass. (lintasan aliran melalui tubes), tetapi ada kalanya lintasan (tubes pass dan shell pass) itu sama.

## 2.2. Jumlah pass atau lintasan pada alat penukar kalor

Yang dimaksud dengan pass dalam alat penukar kalor adalah lintasan yang dilakukan oleh fluida di dalam shell atau dalam tube bundle. Dikenal 2 jenis lintasan alat penukar kalor, yaitu :

1. Shell pass atau shell.
2. Tube pass atau tube.

Yang dimaksud dengan pass shell adalah lintasan yang dilakukan oleh fluida sejak masuk mulai saluran masuk (inlet nozzle), melewati bagian dalam shell dan mengelilingi tube, keluar dari saluran buang (outlet nozzle). Apabila lintasan itu dilakukan 1 kali maka disebut 1 pass shell, kalau terjadi 2 kali melintasi bagian dalam serta melewati tube, disebut 2 atau n pass shell.

Untuk fluida di dalam tube, jika fluida masuk ke dalam penukar kalor melalui salah satu ujung (front head) lalu mengalir ke dalam tube dan langsung keluar dari ujung yang lain melalui rear head, maka disebut dengan 1 pass tube. Apabila fluida itu membelok lagi masuk ke dalam tube, sehingga terjadi dua kali lintasan fluida dalam tube maka disebut 2 pass tube. Biasanya pass shell itu lebih sedikit dari pada pass tube.

### 2.2.1. Standar

Standar yang umum digunakan menjadi acuan dalam merencanakan, fabrikasi serta memilih alat penukar kalor adalah :

1. Standards of Tubular Exchanger manufacturers association (TEMA Standards), merupakan standar Amerika Serikat.

2. Amerika Society of Mechanical Engineers (ASME) Code, Section VIII, Pressure Vessel- division I, Alternative rules for pressure Vessels- division II
3. Amerika Petroleum institute (API Standards), chapter VII – Head Exchangers, Condensors, And Cooler Boxes.
4. American Society of mechanical Engineers (ASME) Code, Section II- Material Specification.  
Part A - ferrous metal.  
Part B - Non ferrous metal.  
Part C – Welding Rod, Electrodes, And Filler Metals.
5. Standart British, seperti British Standard B S 3274, B S 5500, dan Standard Negara- Negara lain seperti Belgia, Jerman, Belanda, Berancis, Norwegia, Australia, Japan, dan lain-lain Adapun standard tersebut mencakup masalah perancangan (design) Pembuatan (fabrikasi), pemilihan material konstruksi, pengujian (testing) shell and tube, sekat dan support, ujung yang bebas (floating head), saluran nosel, plat tube (tube sheet), dan lain-lain.

### **2.2.2. Fluida di dalam shell dan di dalam tube**

Tippler paul 2010 Menentukan fluida di dalam tube serta fluida di luar tube (shell side) memerlukan pertimbangan-pertimbangan yang khusus. Untuk menentukan hal itu dilakukan evaluasi berbagai faktor disamping memperhatikan tipe alat penukar kalor. Adapun faktor-faktor yang harus diperhatikan untuk

menentukan jenis fluida dalam tube (tube side) atau di luar tube (shell side) adalah :

1. Kemampuan untuk membersihkan (cleanability)

Jika dibandingkan cara membersihkan tube dan shell, maka pembersihan sisi shell (luar tube) jauh lebih sulit. Untuk itu maka fluida yang bersih biasanya dialirkan sebelah shell (diluar tube) dan fluida yang kotor melalui tube.

2. Korosi

Masalah korosi atau kebersihan sangat dipengaruhi oleh penggunaan dari paduan logam. Paduan logam itu mahal, karena itu fluida kotor dialirkan melalui tube untuk menghemat biaya yang terjadi karena kerusakan shell.

3. Tekanan kerja

Shell yang bertekanan tinggi, diameter besar, akan memerlukan dinding yang tebal ini akan mahal. Untuk mengatasi hal ini, apabila fluida bertekanan tinggi lebih baik dialirkan melalui tube.

4. Temperature

Fluida bertemperatur tinggi lebih baik dialirkan melalui tube. Fluida bertemperatur tinggi juga akan meurunkan tegangan yang dibolehkan (allowable stress) pada material peralatan, hal ini memerlukan dinding shell yang tebal.

5. Jumlah aliran fluida

Suatu perencanaan yang baik akan diperoleh aliran fluida yang kecil jumlahnya dilakukan pada sisi sebelah shell. Ini mempengaruhi jumlah pass aliran, tetapi konsekuensinya ialah kerugian dan penurunan tekanan.

## 6. Viskositas

Batas angka kritis bilangan Reynolds untuk aliran turbulen pada sisi shell adalah 200 karena itu aliran laminar dalam tube dapat menjadi turbulen apabila aliran melalui shell. Aliran tetap laminar dialirkan melalui shell maka lebih baik aliran itu dialirkan melalui tube.

### 2.2.3. Susunan tube

Kemampuan melepas atau menerima panas suatu alat penukar kalor dipengaruhi oleh besarnya luas permukaan (heating surface). Besarnya luas permukaan itu tergantung dari panjang, ukuran, dan jumlah tube yang dipergunakan pada alat penukar kalor itu. Susunan tubes itu mempengaruhi besarnya penurunan tekanan aliran fluida dalam shell. Penentuan susunan pipa pipa (tubes) pada alat penukar kalor sangat prinsip sekali, ditinjau dari segi operasi dan segi pemeliharaan. Dibawah ini terdapat beberapa susunan tubes alat penukar kalor.

1. Tube dengan susunan segitiga (triangular pitch).
2. Tube dengan susunan bujur sangkar (In-line square pitch).
3. Tube dengan susunan berbentuk belah ketupat, atau bentuk bujur sangkar  $45^\circ$  (diamond square pitch).

#### 2.2.4. Baffle atau sekat

Baffles atau sekat-sekat yang dipasang pada alat penukar kalor mempunyai beberapa fungsi yaitu :

1. Struktur untuk menahan tube untuk bundle.
2. Damper untuk menahan atau mencegah terjadinya getaran (vibration) pada tubes.
3. Sebagai alat untuk mengontrol dan mengarahkan aliran fluida yang mengalir di luar tubes (shell side)

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

1. Sekat pelat berbentuk segment (segmental baffles plate)
2. Sekat batang (rod baffles)
3. Sekat mendatar (longitudinal baffles)
4. Sekat impingment (impingement baffles)

#### 2.2.5. Alat Penukar Kalor Tipe Shell And Tube

Shell and tube adalah salah satu jenis APK yang menurut konstruksinya dicirikan oleh adanya sekumpulan tube (tube bundles) yang dipasangkan di dalam shell berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi tube dan sisi shell.

Begitu banyaknya jenis dari alat penukar kalor shell and tube yang dipergunakan pada dunia industry. Untuk membuat pembagiannya secara pasti

adalah sangat sulit tetapi oleh TEMA berdasarkan pemakaian dari heat Exchanger itu diklasifikasikan dalam 3 class yaitu :

1. class R,
2. class C,
3. class B.

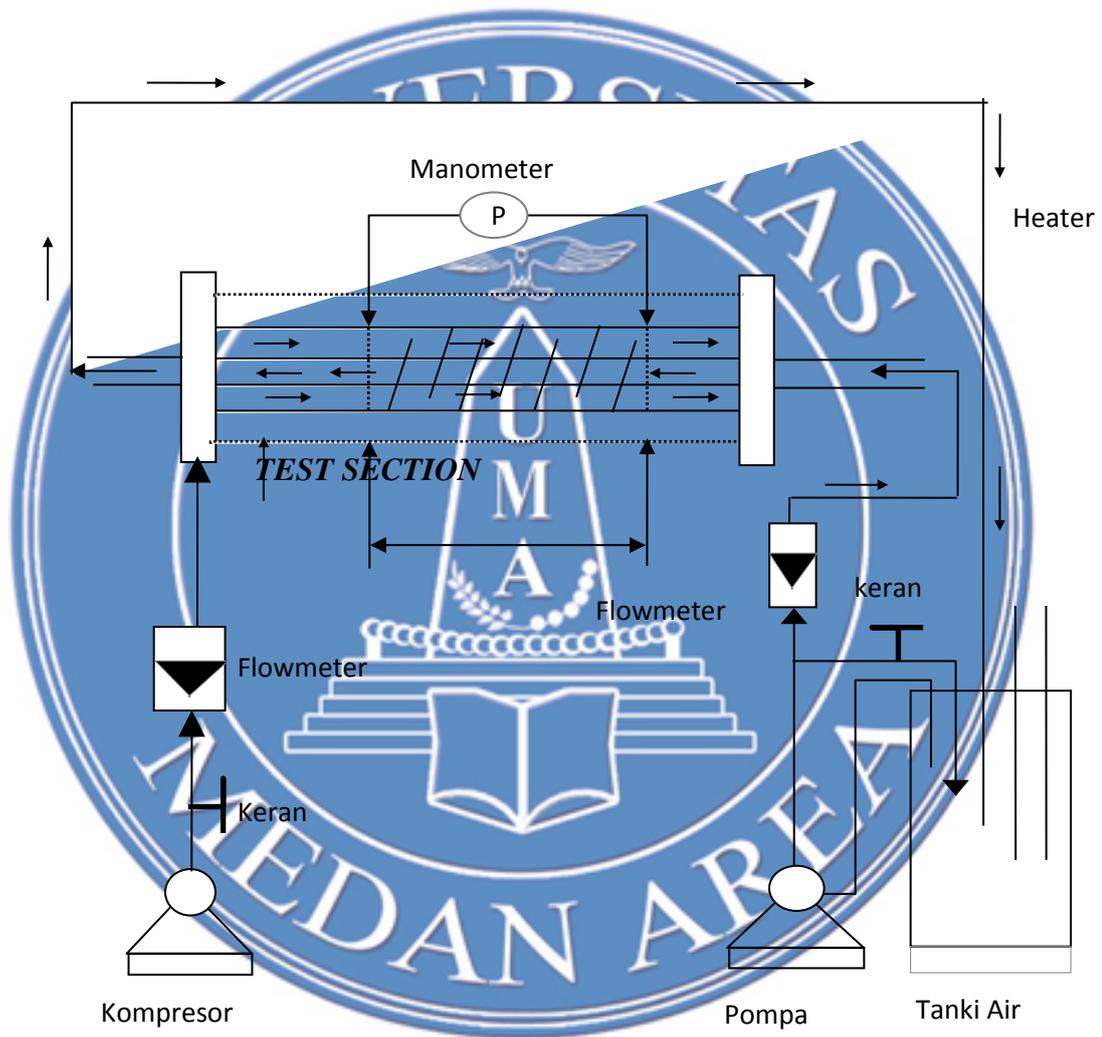
Class R adalah alat penukar kalor yang tidak mengalami pembakaran, dan secara umum dipergunakan untuk mengelolah minyak (petroleum) atau setidak-tidaknya berhubungan dengan aplikasi dalam proses pengelohan minyak.class C sama dengan class R,di mana dalam penggunaanya tidak mengalami pembakaran. Jenis ini umumnya dipergunakan pada tujuan-tujuan komersial dan dalam proses yang umum. Class B juga sama hanya saja dipergunakan untuk proses-proses.

Konstruksi tipe BEM mempunyai front end stationary B yang berbentuk bunnet, shell tipe E yaitu one pass shell dan rear head, tipe M yaitu fixed tube shell. Umumnya aliran fluida dalam shell and tube dari suatu APK adalah parallel atau berlawanan. Untuk membuat aliran fluida dalam shell and tube menjadi aliran menyilang (cross flow) biasanya ditambah baffle (sekat).

Skema peralatan penelitian yang digunakan seperti terlihat dalam gambar

1. Peralatan percobaan terdiri dari bagian penenang dan bagian pengujian. Bagian pengujian mempunyai panjang 1.250 mm yang didahului dengan bagian penenang dengan panjang 1.800 mm. Pipa percobaan dengan diameter luar 7/8 inci, sedangkan sebagai *shell* dengan diameter dalam 57 mm. Penelitian ini dilaksanakan pada kisaran bilangan Reynolds antara 13.566 sampai dengan

42.278. Setiap kali pengamatan, laju alir air dibuat dengan konstan yaitu 150 lt/jam dengan empat variasi sudut kemiringan *baffle*, masing-masing 90<sup>0</sup>, 70<sup>0</sup>, 50<sup>0</sup>, dan 20<sup>0</sup>. Air panas dialirkan ke dalam *tube* yang dipertahankan pada suhu 69<sup>0</sup>C dan udara bebas sebagai fluida kerja dialirkan ke dalam *shell*.



**Gambar 15 : Skema Peralatan Eksperimen**

Faktor gesekan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut;

$$f = \frac{\Delta p}{(N_b + 1)} \frac{D_e}{D_s} \frac{1}{2\rho_s \cdot V_s^2} \dots\dots\dots(1)$$

dimana:  $\Delta p$  adalah penurunan tekanan disepanjang pipa,  $f$  faktor gesekan,  $\rho$  massa jenis fluida,  $V$  kecepatan aliran fluida, dan  $D_e$  adalah diameter ekuivalen pipa.

Holman J.P 1994 mengatakan rumus Bilangan Reynolds dihitung dengan menggunakan persamaan;

$$Re = \frac{V D_e}{\nu} \dots\dots\dots(2)$$

dimana;  $Re$  adalah bilangan Reynolds dan  $\nu$  viskositas kinematik fluida.

Diameter ekuivalen *shell* ( $D_e$ ) ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$D_e = \frac{4(S_T^2 - \pi d^2 / 4)}{\pi d} = \frac{4S_T^2 - \pi d^2}{\pi d} \dots\dots\dots(3)$$

dimana:  $S$  adalah keliling dari penampang pipa dan  $d$  diameter luar pipa dalam

Jumlah kalor yang diserap oleh udara dalam *shellside* dihitung dengan rumus;

$$q = m C_p (T_{out} - T_{in}) \dots\dots\dots(4)$$

dimana;  $q$  adalah laju perpindahan kalor konveksi,  $m$  adalah massa fluida yang mengalir,  $T_{in}$  ( $T_1$ ) adalah temperatur udara masuk  $T_{out}$  ( $T_2$ ) adalah temperatur udara keluar, dan  $C_p$  adalah kalor jenis fluida.

Laju perpindahan kalor konveksi dari dinding luar *tube* ke udara di dalam *shellside* adalah;

$$q = h A_o F \Delta T_{lm} \dots\dots\dots(5)$$

dimana :

$$A_o = \pi d_n \{(2L + M) - 1,5 N_b.p\} \dots\dots\dots(6)$$

dimana  $A_o$  adalah luas permukaan bagian luar dan  $F$  adalah nilai faktor koreksi

Bilangan Nusselt yang terjadi dihitung dengan persamaan:

$$Nu = \frac{h D_h}{k} \dots\dots\dots(7)$$

Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h$ ) rerata dihitung berdasarkan

prinsip kesetimbangan energi antara persamaan (5) dengan (6), yaitu:

$$m C_p (T_{out} - T_{in}) = h A_o F \Delta T_m \dots\dots\dots(9)$$

sehingga :

$$h = \frac{m C_p (T_{out} - T_{in})}{A_o F \Delta T_m} \dots\dots\dots(10)$$

Holman J.P 1994 Beda temperatur rerata logaritmis (Logaritmic Mean Temperature Difference = LMTD) dihitung dengan persamaan berikut.

$$\Delta T_m = LMTD = \frac{(T_{wm} - T_{in}) - (T_{wm} - T_{out})}{\ln \frac{(T_{wm} - T_{in})}{(T_{wm} - T_{out})}} \dots\dots\dots(11)$$

dimana;  $T_{in}$  adalah temperatur udara masuk,  $T_{out}$  temperatur udara keluar, dan  $T_{wm}$  temperatur rata-rata permukaan luar dinding pipa.

Melalui persamaan (10) diperoleh koefisien perpindahan kalor konveksi ( $h$ ) dan digunakan untuk menentukan bilangan Nusselt pada persamaan (7).

Secara matematis hubungan antara koefisien perpindahan kalor konveksi ( $Nu$ ) dan faktor gesekan ( $f$ ) dengan variabel yang mempengaruhinya adalah;

$$Nu = a_1 Re^{b1} (\sin \theta)^{c1} \dots\dots\dots(12)$$

$$f = a_2 Re^{b2} (\sin \theta)^{c2} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana  $Nu$  adalah bilangan Nusselt,  $Re$  bilangan Reynolds,  $\sin \theta$  sudut kemiringan *baffle*, dan  $f$  adalah faktor gesekan.

Harga dari  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $c_1$ , dan  $c_2$ , didapat berdasarkan analisis data percobaan dengan "*Multiple linear regression*"

### 2.2.6 Perpindahan Panas Secara Konduksi

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, tenaganya dilimpahkan kepada molekul di sekelilingnya sehingga menyebabkan getaran yang lebih cepat maka akan memberikan panas.