



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Dasar Teori

II.1.1 Minyak Bumi

Minyak bumi (petroleum) dijuluki sebagai emas hitam. Minyak bumi adalah cairan kental, berwarna hitam atau kehijauan, mudah terbakar dan berada di lapisan atas dari beberapa tempat di kerak bumi. Minyak bumi merupakan salah satu bentuk hidrokarbon, yaitu senyawa kimia yang mengandung hidrogen dan karbon. Minyak bumi yang belum diolah disebut minyak mentah (crude oil) dan belum dapat digunakan. Minyak mentah diolah dengan cara dipisah-pisahkan berdasarkan titik didihnya. Hasil pengolahan minyak mentah berupa bensin, solar, avtur, minyak tanah, aspal, plastik, oli dan LPG.

Minyak (petroleum) berasal dari kata Petro yang berarti rock (batu) dan Leum yang berarti oil (minyak). Minyak bumi bila diproses hasilnya dapat diolah menjadi produk-produk yang dapat dipergunakan secara luas, sebagian besar sebagai sumber energi seperti bahan bakar kendaraan, bahan bakar pembangkit listrik, bahan bakar rumah tangga dan produk-produk lainnya. Secara fisik minyak bumi (Crude Oil) merupakan cairan kental yang berwarna coklat gelap. Dalam minyak bumi terkandung gas, cairan dan elemen-elemen padat yang terlarut didalamnya dan juga partikel-partikel padatan yang terbawa selama pengangkutannya ke permukaan bumi.

Minyak mentah (petroleum) adalah campuran yang kompleks, terutama terdiri dari hidrokarbon bersama-sama dengan sejumlah kecil komponen yang mengandung sulfur, oksigen dan nitrogen dan sangat sedikit komponen yang mengandung logam, proses pengolahan minyak bumi melibatkan 2 proses utama, yaitu :

a. Proses pemisahan (separation processes)

Unit operasi yang digunakan dalam penyulingan minyak biasanya sederhana tetapi yang kompleks adalah interkoneksi dan interaksinya.



1. Distilasi

Bensin, kerasin dan minyak gas biasanya disuling pada tekanan atmosfer, fraksi-frakst minyak pelumas akan mencapai suhu yang lebih tinggi dimana zat-zat hidrokarbon mula terurai (biasanya kira-kira antara suhu 375 -400°C) karena itu lebih baik jika minyak pelumas disuling dengan tekanan yang diturunkan. Pengurangan tekanan diperoleh dengan menggunakan sebuah pompa vakum (vacum pump).

2. Absorpsi

Umumnya digunakan untuk memisahkan zat yang bertitik didih tinggi dengan gas. Minyak gas digunakan untuk menyerap gasolin alami dari gas-gas basah. Gas-gas dikeluarkan dari tangki penyimpanan gas sebagai hasil dari pemanasan matahari yang kemudian diserap ulang oleh tanaman. Steam stripping pada umumnya digunakan untuk mengabsorpsi hidrokarbon fraksi ringan dan memperbaiki kapasitas absorpsi minyak gas. Proses ini dilakukan terutama dalam hal-hal sebagai berikut :

- Untuk mendapatkan fraksi-fraksi gasolin alami yang dapat dicampurkan pada bensin
- Untuk pemisahan gas-gas rekahan dalam suatu fraksi yang sangat ringan (misalnya fraksi yang terdiri dari zat hidrogen, metana, etana) dan fraksi yang lebih berat yaitu yang mempunyai komponen-komponen yang lebih tinggi
- Untuk menghasilkan bensin-bensin yang dapat dipakai dari berbagai gas ampas dari suatu instalasi penghalus

3. Adsorpsi

Proses adsorpsi digunakan untuk memperoleh material berat dan gas. Pemakan terpenting proses adsorpsi pada perindustrian minyak adalah

- Untuk mendapatkan bagian-bagian berisi bensin (natural gasoline) dan gas-gas bumi, dalam hal ini digunakan arang aktif



- Untuk menghilangkan bagian-bagian yang memberikan warna dan hal-hal lain yang tidak dikehendaki dari minyak, digunakan tanah liat untuk menghilangkan warna dan bau (biji oksida-aluminium)

4. Filtrasi

Digunakan untuk memindahkan endapan lilin dari lilin yang mengandung destilat Filtrasi dengan tanah liat digunakan untuk decolorisasi fraksi.

5. Kristalisasi

Sebelum di filtrasi lilin harus dikristalisasi untuk menyesuaikan ukuran kristal dengan cooling dan stirring. Lilin yang tidak diinginkan dipindahkan dan menjadi lilin mikrokristalin yang diperdagangkan.

6. Ekstraksi

Pengerjaan ini didasarkan pada pembagian dari suatu bahan tertentu dalam dua bagian yang memiliki sifat larut yang berbeda.

b. Proses Konversi (conversion processes)

Hampir 70% dari minyak mentah di proses secara konversi di USA, mekanisme yang terjadi berupa pembentukan "ion karbonium" dan "radikal bebas". Dibawah ini ada beberapa contoh reaksi konversi dasar yang penting

- Cracking atau Pyrolysis

Cracking atau pyrolysis merupakan proses pemecahan molekul-molekul hidrokarbon besar menjadi molekul-molekul yang lebih kecil dengan adanya pemanasan atau katalis. Proses cracking dilakukan untuk menghasilkan fraksi-fraksi bensin yang berat yaitu yang mempunyai bilangan oktan yang buruk karena umumnya bilangan oktan itu meningkat jika titik didihnya turun.

- Polimerisasi

Terbentuknya polimer antara ikatan molekul yang sama yaitu ikatan bersama dari light gasoline. Proses polimerisasi merubah produk samping gas hidrokarbon yang dihasilkan pada cracking menjadi hidrokarbon liquid



yang bisa digunakan sebagai bahan bakar motor dan penerbangan yang memiliki bilangan oktan yang tinggi serta bahan baku petrokimia.

- Alkilasi

Proses alkilasi merupakan proses penggabungan olefin dari aromatik atau hidrokarbon parafin. Proses alkilasi adalah eksotermik dan pada dasarnya sama dengan polimerisasi, hanya berbeda pada bagian-bagian dari charging stock need be unsaturated. Sebagai hasilnya adalah produk alkilat yang tidak mengandung olefin dan memiliki bilangan oktan yang tinggi. Metode ini didasarkan pada reaktivitas dari karbon tersier dari isobutana dengan olefin, seperti propilen, butilen dan amilen.

- Hidrogenasi

Proses ini adalah penambahan hidrogen pada olefin, Katalis hidrogen adalah logam yang dipilih tergantung pada senyawa yang akan direduksi dan pada kondisi hidrogenasi, misalnya Pt, Pd, Ni, dan Cu.

- Hydrocracking

Proses hydrocracking merupakan penambahan hidrogen pada proses cracking

- Isomerisasi

Proses isomerisasi merubah struktur dari atom dalam molekul tanpa adanya perubahan nomor atom. Proses ini menjadi penting karena dapat menghasilkan isobutana yang dibutuhkan untuk membuat alkilat sebagai dasar gasoline penerbangan.

- Reforming atau Aromatisasi

Reforming merupakan proses konversi dari naphtha untuk memperoleh produk yang memiliki bilangan oktan yang tinggi, dalam proses ini biasanya menggunakan katalis rhenium, platinum, dan chromium (Zuhra, 2003)



II.1.2 Perpindahan Panas

Perpindahan panas merupakan salah satu bidang ilmu yang mempelajari perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara material atau komponen. Dalam termodinamika energi yang berpindah satu tempat ketempat yang lain itu dinamakan dengan kalor. Kalor atau panas dapat didefinisikan sebagai suatu energi yang berpindah dari satu daerah ke daerah lain akibat adanya perbedaan temperatur pada daerah tersebut. Kalor akan berpindah dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah. Ketika kalor atau panas berpindah maka akan terjadi proses pertukaran panas dan kemudian akan berhenti disaat telah terjadi kesetimbangan suhu. Berdasarkan medium perantaranya perpindahan panas dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

a. **Perpindahan Panas Konduksi**

Perpindahan panas konduksi adalah perpindahan panas tanpa disertai dengan media pemanasnya. Perpindahan panas ini dapat terjadi pada suatu material yang mempunyai gradient sehingga kalor akan mengalir tanpa disertai suatu gerakan zat. Panas akan mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair, gas).

b. **Perpindahan Panas Konveksi**

Proses perpindahan panas konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan, proses ini terjadi pada permukaan material. Proses perpindahan panas secara konveksi juga dapat didefinisikan dengan proses transport energi dengan kerja gabungan dan konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Hal yang utama dalam perpindahan panas konveksi adalah keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan. Pada umumnya keadaan keseimbangan termodinamika di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dan suhu sekelilingnya.



c. Perpindahan Panas Radiasi

Proses perpindahan panas radiasi adalah proses perpindahan panas yang diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui media penghantar. Ketika gelombang tersebut telah sampai mengenai pada permukaan benda, maka gelombang mengalami transisi (diteruskan), refleksi (dipantulkan) dan absorpsi (diserap) kemudian menjadi kalor. Hal ini tergantung terhadap jenis bendanya (Maulana, 2019).

II.1.3 Heat Exchanger

Heat Exchanger merupakan alat penukar panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain dan merupakan ilmu dasar yang paling sering digunakan pada industri pabrik kimia. Efektivitas penggunaan dan pemanfaatan panas dari proses *Heat Exchanger* akan mempengaruhi ekonomi operasi pada kilang. *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang berfungsi untuk memfasilitasi perpindahan panas pada suatu proses. Perpindahan panas yang terjadi dapat berfungsi untuk pendinginan (*Cooling* dan *condensation*) maupun pemanasan (*heating* dan *reboiling/ evaporating*).

Pada proses pengilangan minyak, *Heat Exchanger* merupakan peralatan yang paling sering digunakan. Pemanfaatan dan pengoperasian *Heat Exchanger* secara optimum akan meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses yang pada akhirnya berpengaruh terhadap *operating cost* unit proses maupun kilang tersebut. Selain itu operasi *Heat Exchanger* juga ditunjukkan untuk pertimbangan aspek keselamatan dan keamanan serta lingkungan.

Alat penukar kalor sangat berpengaruh terhadap keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses pada suatu industri. Apabila terjadi kegagalan operasi pada peralatan ini baik mekanik maupun operasional dapat menyebabkan berhentinya unit operasi. Selain itu dalam suatu kilang minyak, proses perpindahan panas sangat penting dalam rangka energi konservasi, keperluan proses, persyaratan keamanan dan perlindungan terhadap lingkungan.



Maka suatu alat penukar kalor (*Heat Exchanger*) dituntut untuk memiliki kinerja yang baik agar diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang penuh terhadap suatu unit operasi.

II.1.4 Prinsip Kerja *Heat Exchanger*

Prinsip kerja dari alat penukar kalor yaitu memindahkan panas dari dua fluida pada temperatur berbeda dimana transfer panas dapat dilakukan secara langsung ataupun tidak langsung :

a. 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.

b. Secara kontak tak langsung

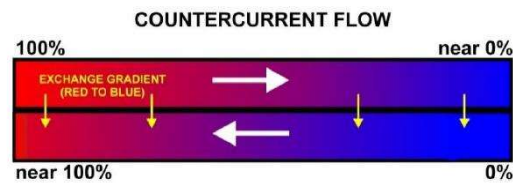
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisahan. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

II.1.5 Tipe Aliran dalam *Heat Exchanger*

Pada alat *Heat Exchanger* terdapat empat tipe aliran dalam alat penukar panas yaitu :

a. *Countercurrent flow* (berlawanan arah)

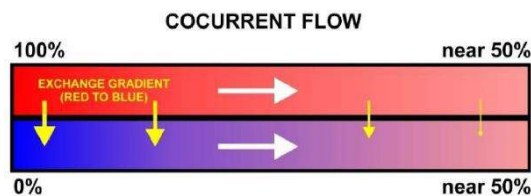
Countercurrent flow adalah aliran berlawanan arah, dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang satu lagi masuk pada ujung penukar kalor yang lain, masing-masing fluida mengalir menuju arah yang berlawanan. Untuk tipe *Countercurrent flow* ini memberikan panas yang lebih baik bila dibandingkan dengan aliran searah atau paralel. Sedangkan banyaknya *pass* (lintasan) juga berpengaruh terhadap efektivitas dari alat penukar panas yang digunakan.



Gambar 2.1 Tipe aliran countercurrent flow (berlawanan arah)

b. *Parallel flow / co-current* (searah)

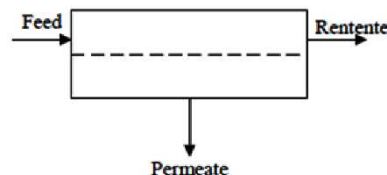
Parallel flow atau *co-current* adalah aliran searah, dimana kedua fluida masuk pada ujung penukar panas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain.



Gambar 2.2 Tipe aliran parallel flow / co-current (searah)

c. *Cross flow* (silang)

Cross flow atau sering disebut dengan aliran silang adalah fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus.



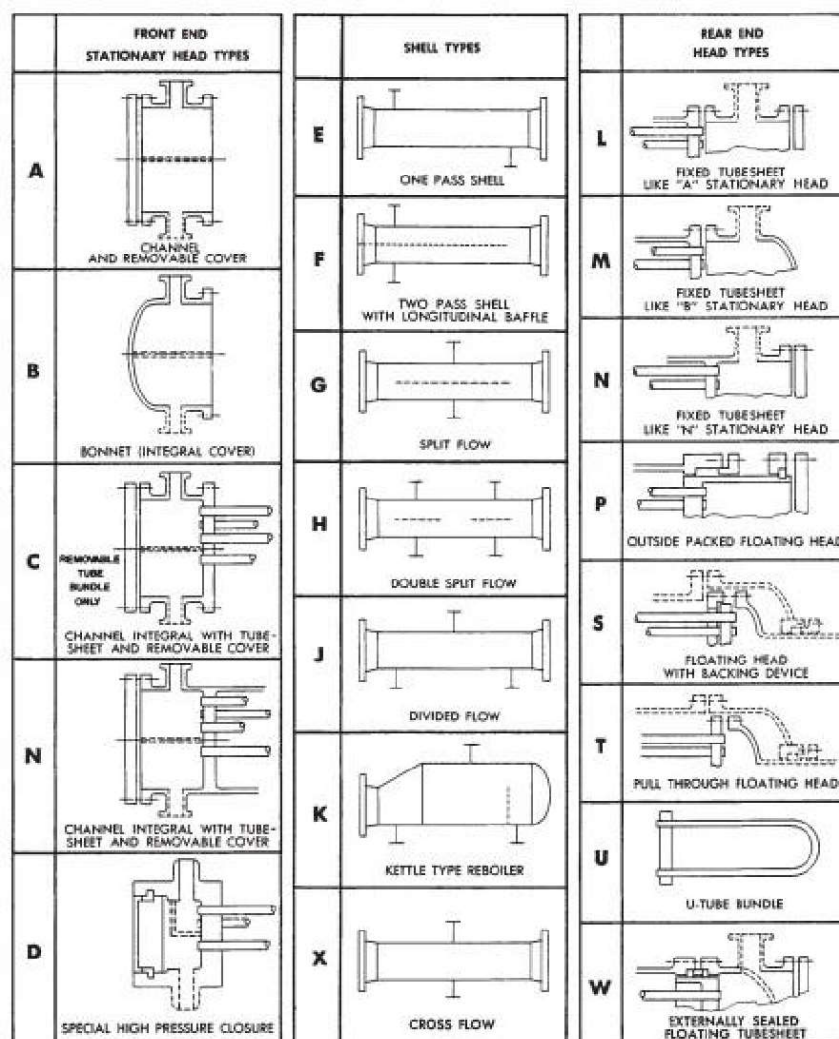
Gambar 2.3 Tipe aliran cross flow (silang)

II.1.6 Jenis Heat Exchanger

Perlu diketahui bahwa untuk alat-alat ini terdapat suatu terminologi yang telah distandardkan untuk menamai alat dan bagian-bagian alat tersebut yang dikeluarkan oleh asosiasi pembuat *Heat Exchanger* yang dikenal dengan *Tubular Exchanger Manufacturers Association (TEMA)*. Standardisasi tersebut bertujuan untuk melindungi para pemakai dari bahaya kerusakan atau kegagalan alat, karena

alat ini beroperasi pada temperature dan tekanan yang tinggi. Dalam standard mekanik TEMA, terdapat dua macam kelas *heat exchanger*, yaitu :

1. **Kelas R**, yaitu untuk peralatan yang bekerja dengan kondisi berat, misalnya untuk industri minyak dan kimia berat.
2. **Kelas C**, yaitu yang dibuat untuk general purpose, dengan didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil, digunakan untuk proses-proses umum industri.
3. **Kelas B**, yaitu untuk menentukan desain fabrikasi untuk proses kimia.



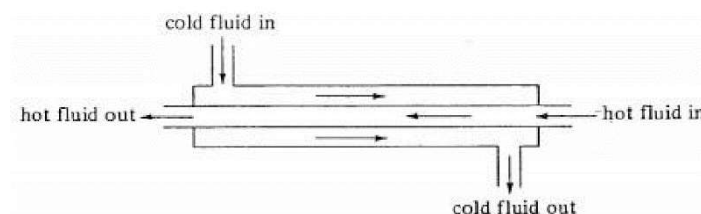
Gambar 2.4 Desain TEMA untuk shell and tube heat exchanger

Dari seluruh tipe *shell* diatas, tipe E merupakan tipe yang paling banyak digunakan karena konstruksinya yang sederhana dan relatif lebih murah. Tipe F

memiliki luas permukaan yang lebih besar karena *shell* tipe ini memiliki 2 aliran. Kondisi aliran terbelah seperti pada tipe G, H dan J digunakan pada kondisi khusus, seperti pada kondensor dan boiler thermosiphon. *Shell* tipe K biasa digunakan untuk pemanas kolam air dan *shell* tipe X digunakan untuk menurunkan tekanan uap. *Heat Exchanger* sendiri memiliki jenis yang bermacam-macam. Beberapa contoh *Heat Exchanger* adalah :

1. Double-pipe Heat Exchanger

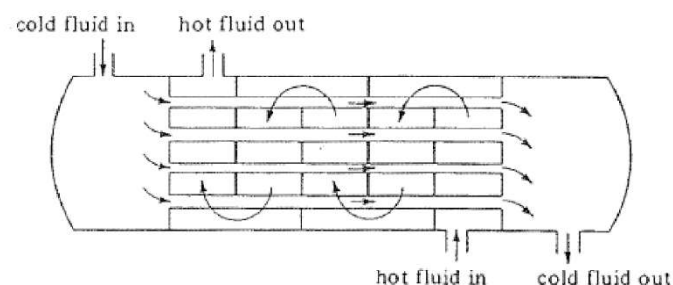
Merupakan jenis paling sederhana dari *Heat Exchanger*. Satu fluida mengalir dalam pipa bagian dalam dan fluida lain berada diantara 2 pipa yang ada. Aliran fluida dapat bersifat *courrent* atau *contercurrent*. *Heat Exchanger* ini terbuat dari 2 pipa dengan panjang yang sama dan pada ujung pipa diberi *fitting*. Jenis ini biasa digunakan untuk laju alir rendah.



Gambar 2.5 Skema sederhana double pipe heat exchanger dan alirannya

2. Shell and Tube Heat Exchanger

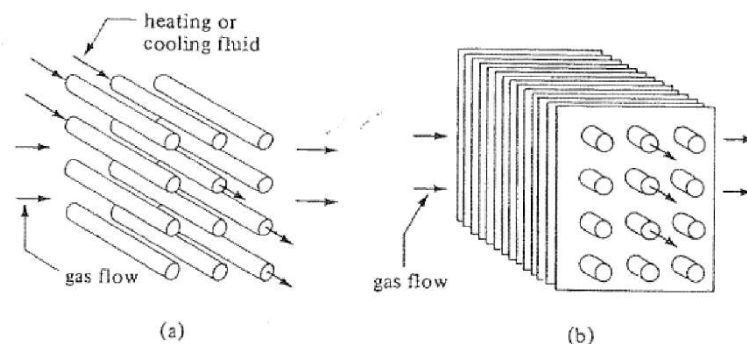
Jenis ini digunakan untuk laju alir yang lebih tinggi, sehingga sering digunakan di industri. *Tube* dipasang secara paralel dan banyak didalam satu *shell*. Fluida dingin masuk kedalam *tube*. Fluida panas masuk dari ujung yang berbeda aliran *countercurrent* di bagian *shell*.



Gambar 2.6 Skema sederhana shell and tube heat exchanger dan alirannya

3. *Cross Flow exchanger.*

Jenis ini biasa digunakan untuk memanaskan atau mendinginkan udara. Cairan dialirkan kedalam *tube* dan gas dialirkan di bagian luar *tube* baik menggunakan gaya ataupun konveksi alami. Cairan dalam *tube* tidak disarankan untuk dicampur dengan aliran lain. Sedangkan untuk gas pemanas atau pendingin, aliran udara boleh bercampur agar temperatur di seluruh *tube* dapat tersebar secara merata. Untuk fluida yang tidak bercampur dalam *tube*, akan terjadi gradient temperatur yang paralel dan normal pada arah alirannya.

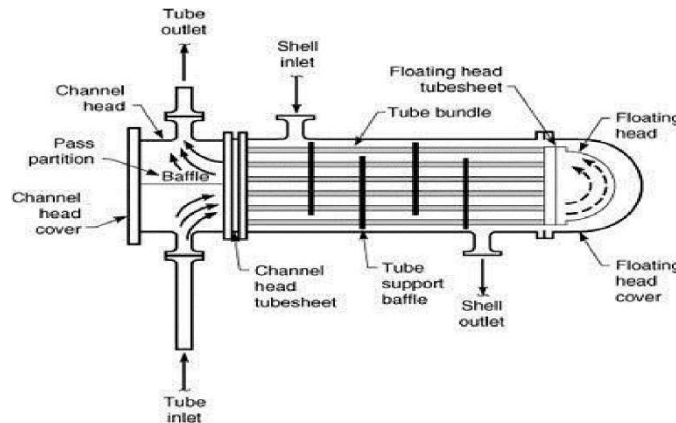


Gambar 2.7 Skema sederhana cross flow heat exchanger dan alirannya

II.1.7 Shell and Tube Heat Exchanger

Jenis ini merupakan tipe alat penukar panas yang paling sering digunakan di industri terutama industri Petrokimia karena harganya yang relatif murah dan perawatannya yang mudah. Tipe alat penukar panas pada 11E-25 juga merupakan tipe *shell and tube*, dimana perpindahan panas terjadi secara konduksi dan radiasi. Dilihat dari penggunaannya alat ini dibagi dalam dua kategori yaitu :

1. Penukar panas proses (proses *Heat Exchanger*)
2. Penukar panas pembangkit tenaga (*Power Plant Heat Exchanger*)



Gambar 2.8 Bagian shell and tube heat exchanger

Keuntungan *Shell and Tube Heat Exchanger* merupakan *Heat Exchanger* yang paling banyak digunakan pada proses-proses industri karena mampu memberikan rasio area perpindahan panas dengan volume dan massa fluida yang cukup kecil. Selain itu juga dapat mengakomodasi ekspansi termal, mudah untuk dibersihkan, dan konstruksinya juga cukup murah di antara yang lain. Untuk menjamin bahwa fluida pada *shell side* mengalir melintasi tabung dan dengan demikian menyebabkan perpindahan kalor yang lebih tinggi, maka di dalam *shell* tersebut dipasangkan sekat/penghalang/*baffle* (Za Tendra, 2011).

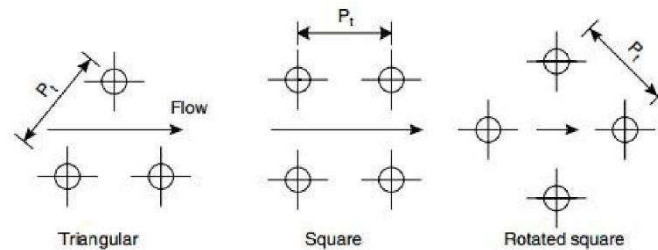
II.1.8 Komponen Shell and Tube Heat Exchanger

Komponen-komponen utama *shell and tube Heat Exchanger* ini terdiri dari:

1) *Tube*

Tube pada sebuah *Heat Exchanger* biasanya berupa pipa-pipa kecil dalam jumlah tertentu dan dalam diameter tertentu pula. Diameter dalam *tube* merupakan diameter dalam aktual dalam ukuran inchi, dengan toleransi yang sangat tepat. *Tube* dapat dibuat dari berbagai jenis logam seperti besi, tembaga, muniz metal, perunggu, 70-30 tembaga-nikel, aluminium perunggu, aluminium dan stainless steel. Untuk ukuran ketebalan pipa *tube* yang berbeda-beda dinyatakan dalam bilangan yang disebut “*Birmingham Wire Gage*” (BWG). Ukuran pipa tersebut secara umum biasanya digunakan dengan mengikuti ukuran-ukuran yang telah baku. Semakin besar bilangan BWG maka semakin tipis *tubenya*. *Tube* dalam *shell*

memiliki beberapa jenis susunan. Susunan yang lazim digunakan adalah segitiga (*triangular*), persegi (*square*), dan diamond (*rotated square*).



Gambar 2.9 Pola susunan tube dalam shell

Masing-masing jenis ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dan kekurangan ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan pola segitiga, persegi dan diamond pada susunan tube

Jenis	Kelebihan	Kekurangan
Segitiga	a. Laju perpindahan panas cukup besar. a. Jumlah <i>tube</i> dapat dibuat menjadi lebih banyak.	a. <i>Pressure drop</i> cukup besar a. Pembersihan sulit, menggunakan bahan kimia
Persegi	a. <i>Pressure drop</i> rendah a. Dapat dibersihkan secara mekanik a. cocok untuk menangani fluida fouling	Koefisien film relative rendah
Diamond	a. Koefisien film lebih tinggi dibandingkan pola persegi, namun dibawah pola segitiga. a. Mudah dibersihkan secara mekanik b. Baik untuk fluida <i>fouling</i>	a. <i>Pressure drop</i> tidak serendah <i>square pitch</i> a. Koefisien film relatif rendah

2) *Tube Pitch*

Lubang-lubang pipa pada penampang *shell* dan *tube* tidak disusun secara begitu saja namun mengikuti aturan tertentu. Lubang *tube* (*tube hole*) tidak boleh saling berdekatan. Jarak antara dua buah *tube* yang saling berdekatan disebut dengan *clearance*. Jumlah pipa dan ukuran *tube* harus disesuaikan dengan ukuran *shell*-nya, ketentuan ini mengikuti aturan baku yang ada. Untuk lubang-lubang pipa dapat berbentuk persegi atau segitiga. Bentuk susunan lubang-lubang pipa secara persegi dan segitiga ini disebut sebagai *tube pitch*.

Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah :

a. *Square pitch*

Digunakan untuk *Heat Exchanger* dengan *pressure drop* yang rendah dan pembersihan secara mekanik dilakukan pada bagian luar *tube*. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 90° .

b. *Triangular pitch*

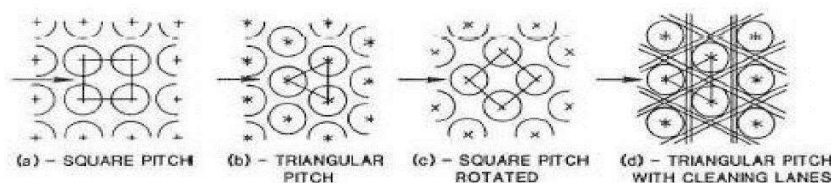
Triangular pitch digunakan untuk fluida yang tingkat kekotorannya tinggi ataupun rendah. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 60° searah dengan aliran fluida nya.

c. *Square pitch rotated*

Digunakan untuk *Heat Exchanger* dengan *pressure drop* dan nilai perpindahan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *square pitch*. Pusat-pusat *tube* saling membentuk sudut 45° .

d. *Triangular pitch with cleaning lanes*

Tipe ini jarang digunakan, tetapi dapat digunakan untuk *Heat Exchanger* dengan *pressure drop* sedang hingga tinggi. Memiliki nilai perpindahan panas yang lebih baik dari *square pitch*.



Gambar 2.10 Jenis tube pitch Tube Sheet



Berfungsi sebagai tempat untuk merangkai ujung-ujung *tube* sehingga menjadi satu yang disebut *tubebundle*. *Tube sheet* terbuat dari material dengan ketebalan dan jenis tertentu tergantung dari jenis fluida yang mengalir pada peralatan tersebut. *Heat Exchanger* dengan *tube* lurus pada umumnya menggunakan dua 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*. *Tube sheet* harus tahan korosi terhadap fluida.

4) *Tie Rods*

Batangan besi yang dipasang sejajar dengan *tube* dan ditempatkan di bagian paling luar dari *baffle* yang berfungsi sebagai penyangga agar jarak antara *baffle* yang satu dengan lainnya tetap.

5) *Shell*

Konstruksi dari *shell* ini bergantung pada kondisi *tube* yang akan ditempatkan di dalam *shell* dan temperatur fluida yang akan mengalir dalam *shell* tersebut. untuk tempratur yang sangat tinggi, kadang diberi sambungan ekspansi. Biasanya *shell* dalam sebuah *Heat Exchanger* berbentuk bulat memanjang (*silinder*) yang berisi *tube bundle* sekaligus sebagai wadah mengalirkan zat atau fluida. Untuk kemungkinan korosi, tebal *shell* sering diberi kelebihan 1/8 inch. Pembagian tipe *shell* dibagi berdasarkan *front-end stationary head type*, *shell type*, dan *rear head type*.

6) *Baffle*

Baffle merupakan bagian yang penting dari alat penukar panas. Kondisi kecepatan aliran baik dalam *shell* maupun *tube* dapat diatur oleh *baffle*. Fungsi *baffle* ini adalah untuk membuat aliran turbulen sehingga perpindahan panas menjadi lebih baik, dimana harga koefisien perpindahan panas yang didapat besar serta menambah waktu tinggal (*residence time*). Tetapi pemasangan *baffle* akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menambah beban kerja pompa, sehingga laju alir fluida yang tukar panasnya harus diatur. Luas *baffle* $\pm 75\%$ dari



penampungan *shell*. Jarak antar *baffle* tidak lebih dekat dari $1/5$ diameter *shell* karena apabila terlalu dekat akan didapat kehilangan tekanan yang besar.

7) *Longitudinal Baffle*

Longitudinal baffle merupakan lempengan sekat yang dipasang sejajar poros *shell* yang berfungsi memperbanyak jumlah aliran fluida dalam *shell*.

8) *Channel*

Channel berfungsi untuk membalikkan arah aliran fluida dalam *tube* pada *fixed tube exchanger*.

9) *Nozzle*

Nozzle merupakan saluran masuk dan keluar fluida dalam *shell* ke dalam *tube*.

II.1.9 Pemilihan Fluida yang dilewatkan *Tube and Shell*

Pemilihan fluida yang akan dilewatkan dalam *tube* maupun *shell* terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi, faktor – faktor tersebut antara lain :

1. Kemudahan perawatan

Jika dibandingkan cara membersihkan *tube and shell*, maka pembersihan *shell* jauh lebih sulit. Untuk itu fluida yang bersih biasanya dialirkan pada bagian *shell* dan fluida yang kotor melalui *tube*. Fluida kotor dilewatkan melalui *tube* karena *tube-tube* mudah untuk dibersihkan.

2. Sifat aliran fluida

Apabila laju arus fluida dalam *tube* kecil maka pola alirannya laminar sehingga tidak sesuai dengan yang diinginkan. Pola aliran dalam *tube* harus turbulen karena koefisien perpindahan panasnya akan besar. Aliran dalam *tube* mempunyai kecepatan yang besar sehingga dan dapat mencegah terjadinya endapan.

3. Kekotoran fluida

Fluida kotor dilewatkan melalui *tube* karena *tube-tube* dengan mudah dapat dibersihkan. Dilewatkan melalui *shell*, bila *tube* tidak dapat dibersihkan atau sejumlah besar dari *cokes* atau reruntuhan ada yang terkumpul di *shell* dan dapat dihilangkan melalui tempat pembuangan pada *shell*.



4. Kekorosan fluida

Masalah korosi sangat dipengaruhi oleh penggunaan dari paduan logam. Paduan logam tersebut mahal oleh karena itu fluida yang korosif dialirkan melalui *tube* untuk menghemat biaya yang terjadi karena kerusakan *shell*.

5. Tekanan

Fluida bertekanan tinggi dilewatkan pada *tube* karena bila dilewatkan *shell* membutuhkan diameter dan ketebalan yang lebih sehingga membutuhkan biaya yang lebih mahal.

6. Suhu

Fluida dengan suhu tinggi dilewatkan pada *tube* karena panasnya ditransfer seluruhnya ke arah permukaan luar *tube* atau ke arah *shell* sehingga akan diserap sepenuhnya oleh fluida yang mengalir di *shell*. Apabila fluida dengan temperatur lebih tinggi dilewatkan pada *shell* maka transfer panas tidak hanya dilakukan ke arah *tube*, tetapi ada kemungkinan transfer panas juga terjadi ke arah luar *shell* (ke lingkungan).

7. Kuantitas

Fluida yang memiliki volume yang besar dilewatkan melalui *tube* untuk memaksimalkan proses perpindahan panas yang terjadi.

8. Viskositas

Fluida yang *viskos* atau memiliki laju rendah, dilewatkan melalui *shell* karena dapat menggunakan *baffle*.

9. Pressure drop

Peletakan fluida dalam *tube* akan lebih mudah dalam pengalkulasian *pressure drop*.

10. 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 *baffle*,



sehingga *cleaning* pada sisi *shell* menjadi tidak mungkin dilakukan tanpa mencabut *tube bundle*.

Dalam penggunaan alat-alat perpindahan panas tersebut, ada dua hal yang perlu diperhatikan dan ditetapkan batasnya yaitu :

1. Hal yang berkaitan dengan kemampuan alat untuk mengalihkan panas dari fluida dingin lewat dinding *tube*.
2. Hal yang berkaitan dengan penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing fluida ketika mengalir melalui alat tersebut.

Suatu alat perpindahan panas dinilai mampu berfungsi dengan baik dalam penggunaannya apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut :

- 1) Mampu memindahkan panas sesuai dengan kebutuhan proses operasi dalam keadaan kotor (*fouling factor* atau *Rd*). *Rd* adalah gabungan maksimum terhadap perpindahan panas yang diperlukan oleh kotoran yang menempel pada bagian permukaan dinding *shell* dan *tube* apabila tidak dibersihkan akan mengurangi perpindahan panas yang terjadi.
- 2) Penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing aliran berbeda dalam batas-batas yang diijinkan, yaitu :
 - Untuk aliran uap dan gas : ΔP tidak melebihi 0,5-2,0 psi
 - Untuk aliran cairan : ΔP tidak melebihi 5-10 psi

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun analisis performa suatu alat perpindahan panas.

II.1.10 Faktor yang Menyebabkan Pembentukan Endapan (*Fouling*)

Endapan (*fouling*) dalam *Heat Exchanger* sangat tidak diinginkan karena dapat menambah tahanan transfer panas. Penambahan ini akan mengurangi nilai dari koefisien transfer panas dan mengakibatkan panas yang ditransfer juga akan mengalami pengurangan karena luas permukaan yang juga akan berkurang. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan terbentuknya *fouling* :

1. Suhu operasi di atas 250°F



2. Proses pemanasan lebih besar daripada proses pendinginan
3. Terjadi penguapan
4. Kecepatan aliran yang relatif kecil
5. Adanya reaksi organik antara *feed* dan oksigen saat di *storage tank*.

II.1.11 Pembersihan dan Pemeliharaan (*maintenance*) *Heat Exchanger*

Biasanya *Heat Exchanger* dihitung faktor kekotorannya setelah beberapa periode. Jika sudah mendekati periode tersebut *Heat Exchanger* tersebut tidak dapat bekerja secara maksimal karena adanya kotoran-kotoran yang melekat pada dinding *shell* maupun *tube*. Hal ini dapat diatasi dengan cara memberhentikan *Heat Exchanger* sementara kemudian dilakukan pembersihan pada *Heat Exchanger* tersebut. Dalam proses pemurnian minyak bumi, sering ditemui *cake* dan kotoran lainnya yang korosif dan dapat merusak alat. Untuk meminimalkan kadar korosi serat deposit garam dalam alat tersebut maka biasanya digunakan suatu katalisator negatif dalam sistem pengoperasiannya.

Pada prinsipnya *maintenance* dapat dibagi menjadi dua yaitu *planned maintenance* dan *unplanned maintenance*. Adapun jenis *maintenance* dapat dibedakan sebagai berikut :

a. *Preventive Maintenance*

Tindakan agar peralatan tidak mengalami kerusakan atau gangguan. Oleh karena itu, tindakan ini bertujuan menekan suatu tingkat keadaan yang menunjukkan gejala kerusakan sebelum peralatan tersebut mengalami kerusakan fatal sehingga umur pemakaiannya panjang.

b. *Corrective Maintenance*

Tindakan *corrective* atau perbaikan tidak saja hanya memperbaiki kerusakan akan tetapi terutama mempelajari sebab-sebabnya dan bagaimana cara mengatasinya agar tidak terulang lagi, frekuensi *corrective* sangat dipengaruhi sejauh mana *preventive* dilakukan.



c. *Break Down*

Merupakan salah satu bentuk tindakan perbaikan terhadap peralatan dengan cara membongkar pasang yang dikenal *overhead*. *Overhead* dibagi dua *minor* dan *major*, penentuan *overhead minor* atau *major* berdasarkan:

1. Tingkat kesulitan kerusakan.
2. Waktu yang dipergunakan untuk perbaikan
3. Kebutuhan tenaga (ahli atau tukang)
4. Besarnya biaya

d. *Shut Down*

Peralatan yang mendadak mati atau ada yang mengartikan dimatikan, dalam hal ini sengaja dimatikan untuk keperluan tindakan *maintenance*, perbedaan pengertian ini berdasarkan pengalaman di lapangan namun pada dasarnya *shut down* adalah mati atau terhentinya karena kerusakan atau dalam rangka perbaikan.

e. *Overhaul*

Pemeriksaan dan perbaikan secara menyeluruh terhadap sesuatu fasilitas atau peralatan sehingga mencapai standard yang dapat diterima.

1. *Minor Overhaul* adalah perbaikan dalam kriteria ringan.
2. *Major Overhaul* adalah perbaikan dalam kriteria berat.

Kriteria ringan dan berat berdasarkan tingkat kesulitan, waktu yang dipergunakan, keahlian tenaga kerja dan besarnya biaya yang dibutuhkan.

f. *Predictive Maintenance*

Merupakan perkiraan terhadap peralatan yang diperkirakan dalam waktu tertentu akan rusak, mungkin karena sudah menunjukkan gejala atau karena perkiraan atas umur peralatan tersebut. Jadi *predictive maintenance* adalah bentuk baru dari *planned maintenance* dimana penggantian komponen/suku cadang dilakukan lebih awal waktu terjadinya kerusakan.

g. *Unplanned Maintenance*

Pelaksanaan perbaikan terhadap suatu fasilitas karena kerusakan di luar *schedule* atau terjadi *emergency*. Biasanya dilakukan dengan *break down* atau

overhaul, suatu kejadian yang tidak dikehendaki oleh siapapun. Kejadian ini sangat dihindari, maka tindakan *corrective* berdasarkan *planned maintenance* merupakan hal mutlak untuk menghindari *emergency*. Kerugian atas terjadinya *emergency* akan lebih besar demikian juga dengan *lost production* akan lebih besar.

II.1.12 Analisa Performa *Heat Exchanger*

Untuk menganalisa performa suatu *Heat Exchanger*, parameter-parameter yang digunakan adalah:

1. *Duty* (Q)

Duty merupakan besarnya energi atau panas yang ditransfer setiap waktu. *Duty* dapat dihitung baik pada fluida dingin atau fluida panas. Apabila *duty* pada saat operasional lebih kecil dibandingkan dengan *duty* pada kondisi desain, kemungkinan terjadi *heat losses*, *fouling* dalam *tube*, penurunan laju alir (fluida panas atau dingin), dan lain-lain. *Duty* dapat meningkat seiring bertambahnya kapasitas. Untuk menghitung unjuk kerja alat penukar panas, pada dasarnya menggunakan persamaan berikut:

$$Q = W \times Cp \times \Delta T$$

Keterangan:

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr)

W = Laju alir (lb/hr)

Cp = Specific heat fluida (Btu/lb °F)

ΔT = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (°F)

1. *Log Mean Temperature Difference (LMTD)*

$$\Delta_{LMTD} = \frac{\Delta t_h - \Delta t_c}{\ln \ln \frac{\Delta t_h}{\Delta t_c}}$$

Keterangan :

Δth = Beda temperature tinggi (°F)



Δt_c = Beda temperature rendah ($^{\circ}\text{F}$)

2. U_c (*Clean Overall Coefficient*)

Clean Overall Coefficient merupakan koefisien panas menyeluruh pada awal *Heat Exchanger* yang dipakai (masih bersih), biasanya ditentukan oleh besarnya tahanan konveksi h_o dan h_i , sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi

$$U_c = \frac{h_i \times h_o}{h_i + h_o}$$

3. U_d (*Design / Dirty Overall Coefficient*)

Design / Dirty Overall Coefficient merupakan koefisien perpindahan panas menyeluruh setelah terjadi pengotoran pada *Heat Exchanger*, besarnya U_d lebih kecil dari pada U_c

$$U_d = \frac{Q}{N_t \times a^n \times L \times \text{LMTD}}$$

4. *Heat Balance*

$$Q = W \times C_p \times (T_1 - T_2) = W \times C_p \times (t_1 - t_2)$$

Bila panas yang diterima fluida lebih kecil dari pada panas yang dilepaskan fluida panas berarti panas yang hilang lebih besar dan ini mengurangi performa *Heat Exchanger*.

5. *Fouling Factor*

R_d atau *Fouling Factor* merupakan *resistance* dan *Heat Exchanger* yang dimaksudkan untuk mereduksi korosifitas akibat dari interaksi antara fluida dengan dinding pipa *Heat Exchanger*, tetapi setelah digunakan beberapa lama R_d akan mengalami akumulasi (*Deposited*), hal ini tidak baik dengan *Heat Exchanger* karena R_d yang besar akan menghambat laju perpindahan panas antara *Hot fluida* dan *cold fluida*. Jika volume tidak dapat dicegah, dibutuhkan pembersihan secara periodik. Beberapa cara pembersihan yaitu secara kimia contohnya pembersihan endapan karbonat dan klorinasi. Secara mekanis, contohnya dengan mengikis atau penyikatan dan penyemprotan air

dengan kecepatan sangat tinggi. Pembersihan ini membutuhkan waktu yang tidak singkat sehingga terkadang operasi produksi harus dihentikan.

$$Rd = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D}$$

Bila Rd (deposited) > Rd (allowed) maka *Heat Exchanger* perlu dibersihkan. Rd yang diijinkan sebesar 0,004 hr.ft².°F/Btu.

6. *Pressure drop* (ΔP)

Penurunan tekanan baik di *shell* maupun di *tube* tidak boleh melebihi batas *pressure drop* yang diijinkan. Tekanan dalam *Heat Exchanger*, merupakan *driving force* bagi aliran fluida di *shell* maupun di *tube*, jika *pressure drop* lebih besar dari yang diijinkan maka akan menyebabkan laju aliran massa (lb/hr) inlet fluida di *shell* dan di *tube* jauh berbeda dengan laju alir massa *outlet* masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performa dari *Heat Exchanger* tersebut. *Pressure drop* pada *shell* dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta P_s = \frac{f x (G_s)^2 x D_s x (N + 1)}{(5,22 x 10^{10}) x D_s x S_g x \phi_s}$$

Pressure drop pada *tube* dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f x (G_t)^2 x L x N}{(5,22 x 10^{10}) x D x S_g x \phi_t}$$

Keterangan :

f : *fanning friction factor*

G_s : laju aliran massa per satuan luas dalam *shell*

N : jumlah *passes*/laluhan *tube*

D : diameter dalam *tube*

S_g : *specific gravity*

Dalam menganalisa performa *shell* dan *tube Heat Exchanger* diasumsikan:

1. Terdapat heating *surface* yang sama pada setiap pass
2. Overall coefficient heat transfer (U_c) adalah konstan
3. Laju alir massa fluida di *shell* dan *tube* adalah konstan



**PRAKTIK KERJA LAPANG
PUSAT PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA
MINYAK DAN GAS BUMI CEPU**



4. *Specific heat* dari masing-masing fluida adalah konstan
5. Tidak ada perubahan fasa penguapan pada setiap bagian dari *Heat Exchanger*
6. *Heat loss* diabaikan