



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Uraian Proses

II.1.1 Prinsip Dasar Distilasi Atmosferis

Proses pengolahan minyak bumi di Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi menggunakan unit Distilasi Atmosferis. Unit Distilasi Atmosferis merupakan suatu unit yang melaksanakan seluruh rangkaian kegiatan pemisahan minyak mentah (Crude Oil) menjadi produk-produk minyak bumi berdasarkan perbedaan titik didih (Boiling Range) komponen pada tekanan 1 atm yang berlangsung melalui proses pemanasan untuk penguapan dan pendinginan untuk pengembunan. Bertujuan untuk memisahkan fraksi-fraksi yang ada pada Crude Oil menjadi produk-produk yang dikehendaki pada tekanan atmosfer.

II.1.2 Peralatan Utama di Unit Kilang

Peralatan utama unit distilasi untuk dapat terlaksananya proses pengolahan, maka dibutuhkan peralatan pokok antara lain:

1. Pompa

Pompa berfungsi untuk mengalirkan cairan dari suatu tempat ke tempat lain. Pada unit kilang PPSDM pompa yang digunakan adalah pompa reciprocating (torak) dengan penggerak steam, pompa centrifugal dengan penggerak listrik dan pompa screw dengan penggerak motor listrik. Penggunaan pompa menurut fungsinya adalah sebagai berikut :

- a. Pompa Feed (umpan) : digunakan untuk memompa feed (umpan) dari tangki feed ke proses.
- b. Pompa Reflux : digunakan untuk memompa dari tangki naphta ke kolom C- 1 dan C-2.
- c. Pompa Fuel Oil : digunakan untuk memompa bahan bakar (fuel oil) dari tangki fuel oil ke furnance dan boiler.



- d. Pompa Distribusi : digunakan untuk memompa produk dari tangki produk ke tangki depot dan mobil tangki.
2. Alat Penukar Panas (Heat Exchanger)

Merupakan alat untuk memanaskan crude oil dengan memanfaatkan panas produk kilang. Heat Exchanger berfungsi sebagai pemanas awal (Preheater) crude oil untuk tujuan efisiensi panas. Heat Exchanger yang digunakan adalah jenis Shell and Tube Heat Exchanger. Crude Oil dilewatkan pada shell dan produk panas dalam tube. Jumlah Heat Exchanger yang dioperasikan ada lima unit, dua Heat Exchanger memanfaatkan panas produk residu, satu HE memanfaatkan panas produk naphta, dan dua Heat Exchanger memanfaatkan panas produk solar, sehingga temperature crude oil naik dari kurang lebih 33°C. menjadi kurang lebih 120°C.
3. Stabilizer

Setelah keluar dari Heat Exchanger (HE), produk yang bersuhu 120°C masuk ke dalam stabilizer yang terdapat setelah keluar dari Heat Exchanger yang berjumlah 1 buah. Stabilizer ini berfungsi agar aliran produk yang telah keluar dari Heat Exchanger stabil untuk masuk ke dalam furnace.
4. Dapur Pemanas / Furnance

Berfungsi untuk memanaskan crude oil dari kurang lebih 120°C. menjadi kurang lebih 330°C. Pada temperature tersebut sebagian besar fraksi- fraksi pada crude oil pada tekanan sedikit diatas 1 atm telah menguap kecuali residu.
5. Evaporator

Berfungsi untuk memisahkan antara uap dan cairan (residu) dari crude oil yang sudah dipanaskan dari furnace. Produk dari furnace dengan suhu 330°C masuk ke dalam evaporator. Sehingga di dalam evaporator uap dan cairan residu produk dapat terpisahkan. Terdapat 1 unit evaporator dalam proses ini.
6. Kolom Fraksinasi

Berfungsi memisahkan masing-masing fraksi yang dikehendaki sesuai trayek didihnya. Jumlah kolom fraksinasi ada tiga unit, dua unit dioperasikan dan satu unit idle, sebagai alat kontak uap-cairan kolom fraksinasi dilengkapi bubble cup tray.



7. Kolom Stripper

Berfungsi untuk menguapkan kembali fraksi ringan yang ikut pada suatu produk. Ada dua stripper yang dioperasikan yaitu : satu unit untuk stripper solar dan satu unit untuk stripper residu.

8. Kondensor

Berfungsi untuk mengubah fase produk uap solvent ringan (pertasol CA) dari puncak kolom C-2 menjadi fase cair. Terdapat 12 unit condenser yang dioperasikan, empat unit condenser sebagai partial condenser dan delapan unit condenser sebagai total condenser.

9. Cooler

Berfungsi untuk mendinginkan fluida panas menjadi fluida dingin sesuai suhu yang dikehendaki. Ada 14 cooler tipe shell and tube dan enam box cooler.

10. Separator

Berfungsi untuk memisahkan air, minyak dan gas dalam produk. Ada 9 separator yang dioperasikan.

11. Tangki

Berfungsi untuk menampung atau menyimpan crude oil dan produk – produknya. Ada beberapa tangki yang dioperasikan dan tiap-tiap dari tangki tersebut memiliki warna yang berbeda-beda tergantung dari jenis zat di dalam tangki tersebut.

II.2. Uraian Heat exchanger

II.2.1 Heat exchanger

Heat exchanger merupakan suatu alat yang dipasang dalam sistem industri yang dapat menukar atau memindahkan panas dari satu fluida ke fluida yang lain dengan temperatur yang berbeda antar fluida. Perbedaan temperatur dalam alat ini terjadi karena ada yang bertindak sebagai fluida panas (hot fluid) dan ada yang bertindak sebagai fluida dingin (cold fluid). Selain itu, Heat transfer berfungsi sebagai alat penukar panas yang dapat digunakan untuk memanfaatkan atau mengambil panas dari suatu fluida untuk dipindahkan ke fluida lain dan merupakan ilmu dasar yang paling sering digunakan pada industri pabrik kimia. 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 setiap proses industri, heat exchanger merupakan peralatan yang paling sering digunakan. Heat exchanger sangat dibutuhkan dalam sebuah proses industri seperti pada industri gas alam, kilang minyak, refrigerasi, pembangkit listrik, serta dalam pabrik kimia maupun petrokimia. Penggunaan heat exchanger pada umumnya berfungsi sebagai komponen proses industri sehingga dapat menekan penggunaan bahan bakar dan dapat menghemat biaya produksi. Salah satu industri yang menggunakan heat exchanger adalah pada proses pengilangan minyak. Penggunaan heat exchanger secara optimum akan meningkatkan efisiensi energi pada suatu unit proses sehingga akan berpengaruh terhadap operating cost unit proses maupun kilang tersebut serta pertimbangan keselamatan dan keamanan lingkungan.

Dalam industri, alat penukar kalor merupakan faktor keberhasilan dari keseluruhan rangkaian proses dimana apabila terjadi kegagalan operasi pada unit heat exchanger maka unit operasi akan terhenti. Selain itu dalam suatu kilang minyak, proses perpindahan panas sangat penting dalam rangka energi konservasi, keperluan proses, persyaratan keamanan dan perlindungan terhadap lingkungan. Sehingga suatu alat penukar kalor (Heat Exchanger) harus memiliki kinerja yang baik dan optimal agar diperoleh hasil yang maksimal serta dapat menunjang suatu unit operasi dengan maksimal.

II.2.2 Jenis Heat Exchanger

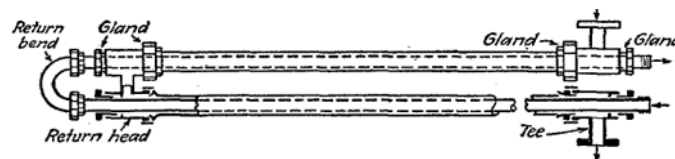
Heat exchanger sendiri memiliki jenis yang bermacam-macam. Beberapa jenis heat exchanger adalah :

1. Double Pipe Heat Exchanger

Bagian dari peralatan ini adalah penukar pipa ganda dalam dua set pipa konsentris, dua Tees penghubung, dan kepala kembali dan tikungan kembali.

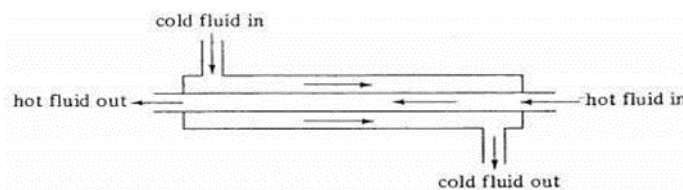
Pipa bagian dalam didukung di dalam pipa luar dengan kelenjar pengemas, dan

fluida memasuki pipa bagian dalam melalui sambungan berulir yang terletak di luar bagian penukar. Tees memiliki nozel atau sambungan sekrup yang terpasang padanya dengan benar untuk memungkinkan masuk dan keluarnya cairan annulus yang melintasi dari satu kaki ke kaki lainnya melalui kepala kembali. Dua panjang pipa bagian dalam dihubungkan oleh tikungan balik yang biasanya terbuka dan tidak memberikan permukaan perpindahan panas yang efektif. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi.



Gambar 2.1 Double pipe heat exchanger

Secara sederhana 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 co-current 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.



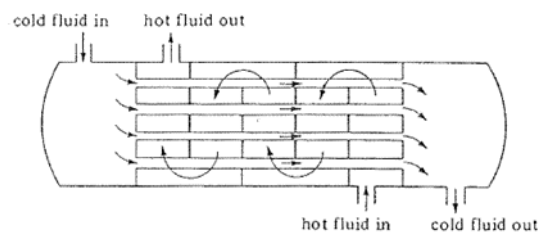
Gambar 2.2 Gambaran sederhana Double Pipe Heat Exchanger dan Alirannya

2. Shell And Tube Heat Exchanger

Shell and tube heat exchanger terdiri dari rangkaian tabung. Satu set tabung ini berisi cairan yang harus dipanaskan atau didinginkan. Cairan kedua mengalir di atas tabung yang sedang dipanaskan atau didinginkan sehingga dapat memberikan panas atau menyerap panas yang dibutuhkan. Shell and tube heat exchanger biasanya digunakan untuk aplikasi tekanan tinggi (dengan

tekanan lebih dari 30 bar dan 3 suhu lebih besar dari 260°C). Ini karena shell and tube heat exchanger kuat karena bentuknya.

Heat Exchanger jenis ini digunakan untuk laju alir yang lebih tinggi, sehingga sering digunakan di industri. Tube dipasang secara parallel dan memiliki jumlah yang banyak didalam satu shell. Prinsip kerja dari heat exchanger ini adalah Fluida dingin masuk kedalam tube sedangkan fluida panas masuk dari ujung yang berbeda sehingga aliran yang ada adalah aliran countercurrent di bagian shell.



Gambar 2.3 Skema Sederhana Shell and Tube Heat Exchanger dan Alirannya
(Kern, 1965)

II.2.3 Prinsip Kerja Heat Exchanger

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

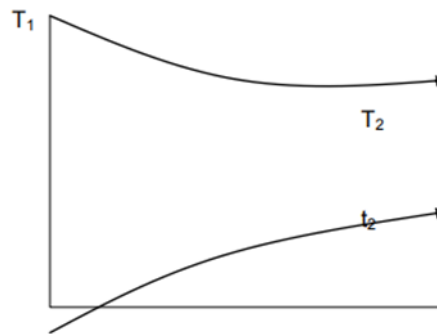
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mengalir.

II.2.4 Tipe Aliran dalam Heat Exchanger

Tipe Aliran dalam Heat Exchanger dibagi menjadi :

1. Aliran Paralel atau searah (Co Current)

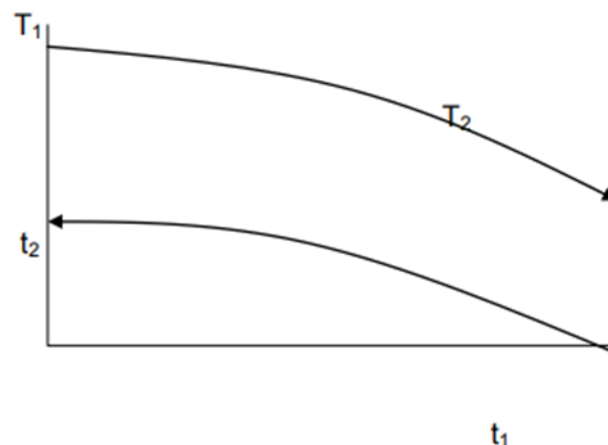
Fluida panas dalam tube mengalir searah dengan fluida yang dipanaskan diluar tube (shell). Perpindahan pada jenis ini relatif kecil karena fluida yang telah berubah suhunya akan mengalir pada posisi tempat dan arah yang sama.



Gambar 2.4 Arah aliran co current

2. Aliran berlawanan Arah (Counter Current)

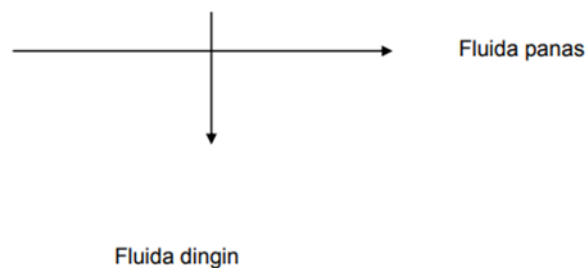
Arah aliran jenis ini, fluida panas dalam tube mengalir berlawanan arah dengan fluida yang dipanaskan diluar tube. Perpindahan panas jenis ini sangat baik sebab kedua fluida saling menukar panas sepanjang aliran dalam peralatan tersebut. Jenis aliran ini banyak digunakan pada alat penukar panas.



Gambar 2.5 Arah aliran counter current

3. Arah Aliran Melintang (Cross Flow)

Arah aliran ini, fluida dalam tube didinginkan dengan arah melintang oleh fluida yang didinginkan. Untuk jenis aliran ini biasanya menggunakan Finned Tube dan banyak dipakai fin fan dengan pendingin udara. Perpindahan panas yang terjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan arah aliran berlawanan.



Gambar 2.6 Arah aliran cross flow

(Amin, 2013)

II.2.5 Pemilihan Fluida yang dilewatkan Tube and Shell

Dalam pemilihan fluida yang akan dilewatkan dalam tube maupun shell terdapat beberapa factor yang mempengaruhi, factor-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 karen 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 yaitu 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. Penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing aliran berbeda dalam batasbatas yang diijinkan, yaitu :
 - a. Untuk aliran uap dan gas, ΔP tidak melebihi 0,5-2,0 psi
 - b. Untuk aliran cairan, ΔP tidak melebihi 5-10 psi

Kedua ketentuan tersebut harus diperhatikan baik dalam melaksanakan evaluasi maupun analisis performance suatu alat perpindahan panas (Kern, 2010).

II.2.6 Analisa Performance Heat Exchanger

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

1. Duty (Q)

Duty merupakan besarnya energi atau panas yang ditransfer per 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 :

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

Keterangan :

Q = Jumlah panas yang dipindahkan (Btu/hr) W = Laju alir (lb/hr)

C_p = Specific heat fluida (Btu/lb oF)

Δt = Perbedaan temperatur yang masuk dan keluar (oF)

2. Log Mean Temperature Difference (LMTD)

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

Keterangan :

Δt_h = Beda temperatur tinggi (°F)

Δt_c = Beda temperatur rendah (°F)

3. U_c (Clean Overall Coefficient)

Clean Overall Coefficient merupakan coefficient panas menyeluruh pada awal Heat Exchanger yang dipakai (masih bersih), biasanya ditentukan oleh besarnya tahanan konveksi h_o dan h_{io}, sedangkan tahanan konduksi diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan tahanan konveksi.

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o}$$

4. 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 daripada U_c.

$$U_d = \frac{Q}{Nt \times a'' \times L \times LMTD}$$

5. Heat Balance

Bila panas yang diterima fluida lebih kecil daripada panas yang dilepaskan fluida panas berarti panas yang hilang lebih besar dan ini mengurangi performance suatu Heat Exchanger.

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



6. 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 untuk Heat Exchanger karena R_d yang besar akan menghambat laju perpindahan panas antara hot fluid dan cold fluid. Jika fouling 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 dengan penyemprotan semprotan air dengan kecepatan sangat tinggi.

Pembersihan ini membutuhkan waktu yang tidak singkat sehingga terkadang operasi produksi harus dihentikan.

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

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

7. Pressure Drop (ΔP)

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

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot (Gs)^2 \cdot D_s \cdot (N + 1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot Sg \cdot \phi_s}$$

Pressure drop pada tube dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot (Gt)^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot Sg \cdot \phi_t}$$



Keterangan :

f = fanning friction factor

G_s = laju aliran massa per satuan luas dalam shell

N = jumlah pass/ laluan tube

D = diameter dalam tube

S_g = specific gravity

Penurunan tekanan baik di shell maupun di tube tidak boleh melebihi batas pressure drop yang diizinkan. Tekanan dalam heat exchanger, merupakan driving force bagi aliran fluida di shell maupun di tube, jika pressure drop lebih besar dari yang diizinkan maka akan menyebabkan laju alir massa inlet fluida di tube jauh berbeda dengan laju alir massa outlet masing-masing fluida. Hal ini akan menurunkan performance dari heat exchanger tersebut.

Dalam menganalisa performance shell dan tube heat exchanger diasumsikan :

- Terdapat heating surface yang sama pada setiap pass.
- Overall Coefficient Heat Transfer (U_c) adalah konstan.
- Laju alir massa fluida di shell dan di tube adalah konstan.
- Specific Heat dari masing-masing fluida adalah konstan.
- Tidak ada perubahan fasa penguapan pada setiap bagian dari heat exchanger.
- Heat Loss diabaikan.

II.2.7 Kelebihan dan Kelemahan Heat Exchanger Double Pipe dan Shell and Tube

A. Double Pipe

Kelebihan :

- Mampu beroperasi pada tekanan yang tinggi, dan karena tidak ada sambungan, resiko tercampurnya kedua fluida sangat kecil
- Memiliki tingkat fleksibilitas dan yang tinggi karena unitnya dapat dilakukan penambahan atau pengurangan sesuai kebutuhan

Kekurangan :

- Kelemahannya adalah kapasitas perpindahan panasnya sangat kecil.



B. Shell and Tube

Kelebihan :

1. Memberikan luas permukaan atau penampang perpindahan panas yang besar dengan volume yang kecil
2. Mampu dioperasikan pada tekanan tinggi
3. Dapat dirancang dengan menggunakan berbagai jenis bahan atau material
4. Mudah dalam melakukan maintenance atau perawatan
5. Memiliki prosedur thermal dan mechanical design yang baik.

Kekurangan :

1. pemasangan sekat akan memperbesar pressure drop operasi dan menyebabkan beban kerja pompa bertambah berat, sehingga laju alir fluida harus diatur sedemikian rupa.

(Maulana, 2017)