



**PERANCANGAN *HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE* PADA  
PERANCANGAN PABRIK PROPILLEN GLIKOL  
KAPASITAS 50000 TON/TAHUN**

**Skripsi**

**diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia**

**Oleh**

**Putra Maulana**

**NIM. 5213415062**

**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG  
SEMARANG  
2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Putra Maulana

NIM : 5213415062

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Perancangan *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* pada  
Perancangan Pabrik Propilen Glikol Kapasitas 50.000 ton/tahun

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke panitia sidang ujian Skripsi Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 4 Juli 2019

Pembimbing



Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T.

NIP. 197603112000122001

## LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “Perancangan *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* pada Perancangan Pabrik Propilen Glikol Kapasitas 50.000 ton/tahun” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 11 Juli 2019.

Oleh

Nama : Putra Maulana  
NIM : 5213415062  
Program Studi : Teknik Kimia

Panitia

Ketua



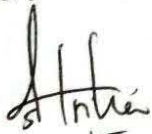
Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T.  
NIP. 197405191999032001

Sekretaris



Dr. Megawati, S.T., M.T.  
NIP. 197211062006042001

Penguji 2



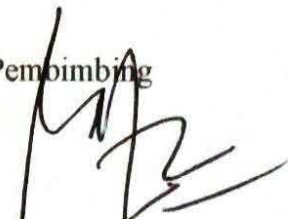
Dr. Astrilia Damayanti, S.T.M.T.  
NIP. 197309082006042001

Penguji I



Dr. Dewi Selvia F., S.T., M.T.  
NIP. 197103161999032002

Pembimbing



Dr. Ratna Dewi K., S.T., M.T.  
NIP. 197603112000122001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Nug Dulus, M.T., IPM.  
NIP. 196911301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Skripsi ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini

Semarang, 2 Juli 2019

Yang membuat pernyataan,



Putra Maulana

NIM. 5213415062

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO :**

“Ikhtiar, doa dan beryukur akan hasil yang didapat adalah kewajiban sebagai muslim”

### **PERSEMBAHAN**

1. Perkembangan ilmu dan teknologi Bangsa dan Negara Indonesia
2. Bapak, Ibu, Adik, Kakak dan seluruh keluarga besar tercinta
3. Seluruh Dosen Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang
4. Teman-teman seperjuangan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang Angkatan 2015
5. Almamater Universitas Negeri Semarang

## ABSTRAK

### PERANCANGAN *HEAT EXCHANGER TIPE SHELL AND TUBE* PADA PERANCANGAN PABRIK PROPILEN GLIKOL KAPASITAS 50000 TON/TAHUN

Putra Maulana

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang  
[putramnaa@gmail.com](mailto:putramnaa@gmail.com)

Berbagai industri kimia yang berkembang dengan pesat di Indonesia antara lain industri agrokimia, oleokimia, petrokimia dan sebagainya. Sebagian besar merupakan penghasil produk-produk strategis yang akan digunakan pada industri hilir seperti industri cat pewarna, kosmetik, obat-batan, plastik, karet sintetik, tekstil dan lain-lain. Oleh karena itu untuk menunjang perkembangan industri hilir di Indonesia dibutuhkan adanya industri yang dapat menyediakan dan memenuhi kebutuhan bahan baku maupun bahan penunjang industri tersebut. Salah satu contoh bahan kimia penunjang industri hilir yang masih mengalami impor untuk memenuhi dan mencukupi kebutuhan dalam negeri adalah *propylene glycol*. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), nilai impor propilen glikol di Indonesia terus meningkat dengan rata-rata impor pertahunnya adalah 34.732,012 ton. Oleh karena itu pendirian pabrik propilen glikol sangat diperlukan. Pabrik propilen glikol dirancang dengan menggunakan proses hidrolisis propilen oksida tanpa katalis. Proses pembuatan propilen oksida dengan proses hidrolisis propilen oksida tanpa katalis telah umum digunakan sebelumnya. Pabrik propilen glikol dengan proses tanpa katalis melibatkan transfer panas atau operasi perpindahan panas. Terdapat beberapa jenis *Heat Exchanger* yang ada di pabrik propilen glikol ini. Salah satunya yaitu *Heat exchanger E-01*. Penelitian perancangan pabrik ini berfokus pada desain *heat exchanger E-01* dengan tipe *shell and tube heat exchanger*. Jumlah tube, panjang tube, diameter luar tube, tebal tube, dan luas area perpindahan panas masing-masing adalah 204 buah, 0,4064 meter, 0,01905 meter, 18 dan 0,1963  $\text{lin/ft}^2$ . Nilai *fouling factor* (Rd) desain adalah 0,00205  $\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{F/Btu}$ . Nilai Rd desain lebih besar daripada *fouling factor* (Rd) aktual yaitu 0,00200  $\text{ft}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{F/Btu}$ .

**Kata Kunci:** *propilen glikol, heat exchanger, shell and tube*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Skripsi ini dengan Judul **“Perancangan Heat Exchanger Tipe Shell And Tube Pada Perancangan Pabrik Propilen Glikol Kapasitas 50000 Ton/Tahun”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan Program Strata I Jurusan Teknik Kimia pada Universitas Negeri Semarang.

Penyusunan Skripsi ini tidak lepas dari dukungan orang-orang disekitar kami, sehingga kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Nur Qudus, M.T.,IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Wara Dyah Pita Rengga, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Ratna Dewi Kusumaningtyas, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing atas arahan dan motivasi yang membangun dalam penyusunan Skripsi.
4. Dr. Dewi Selvia Fardhyanti, S.T., M.T. dan Dr. Astrilia Damayanti, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan koreksi dalam penyempurnaan penyusunan Skripsi.
5. Orangtua dan saudara/saudari, beserta keluarga lainnya yang telah memberi dukungan baik moril dan materil, serta doa yang tulus.
6. Segenap kawan seperjuangan Teknik Kimia UNNES angkatan 2015.
7. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran untuk menyempurnakannya. Penulis berharap Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca yang membutuhkan informasi mengenai masalah yang dibahas dalam Skripsi ini, khususnya terkait bidang Teknik Kimia.

Semarang, 2 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRAK .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Tujuan .....	6
1.4 Manfaat .....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Perpindahan Panas/Kalor .....	7
2.2 Mekanisme Perpindahan Panas.....	8
2.3 Alat Penukar Panas .....	12
2.4 Alat Penukar Panas Shell and Tube .....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	30
3.1 Diagram Alir Metode Penelitian .....	30



3.2 Perhitungan Desain.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....	34
4.1 Menentukan Properti Fluida Panas dan Dingin .....	35
4.2 Pemilihan Jenis Penukar Panas .....	42
4.3 Pemilihan Sementara Parameter Desain .....	43
4.4 Perhitungan Desain Transfer Panas.....	44
4.5 Evaluasi Data Termal, Rd Dan $\Delta P$ .....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran.....	51
DAFTAR PUSTAKA .....	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi pada dinding .....	8
Gambar 2.2 Perpindahan panas konveksi .....	10
Gambar 2.3 Perpindahan panas radiasi .....	11
Gambar 2.4 Profil temperatur aliran <i>co-current</i> .....	13
Gambar 2.5 Profil temperatur aliran <i>counter-current</i> .....	14
Gambar 2.6 <i>Double pipe heat exchanger</i> .....	16
Gambar 2.7 <i>Plate and Frame Heat Exchanger</i> .....	17
Gambar 2.8 <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> .....	20
Gambar 2.9 Komponen-komponen alat penukar kalor tipe <i>shell and tube</i> .....	21
Gambar 2.10 Jenis shell berdasarkan TEMA.....	24
Gambar 2.11 Jenis-jenis <i>tube pitch</i> .....	29
Gambar 3.1 <i>Diagram Alir Metode Penelitian</i> .....	30
Gambar 4.1 Heat exchanger .....	34

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Kebutuhan Impor Propilen Glikol di Indonesia .....	3
Tabel 4.1 Komposisi Umpan E-01.....	34
Tabel 4.2 Hasil Perhitungan Viskositas Fluida Panas.....	36
Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Viskositas Fluida Dingin.....	36
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Konduktivitas Fluida Panas.....	37
Tabel 4.5 Hasil Perhitungan Konduktivitas Fluida Dingin .....	38
Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Fluida Panas .....	39

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Fluida Dingin.....	40
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Densitas Fluida Panas .....	41
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Densitas Fluida Dingin.....	41

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Indonesia dimasa ini menjadi salah satu dari negara berkembang yang sedang melakukan percepatan pembangunan dalam bidang industri. Pembangunan industri nasional berorientasi pada peningkatan daya saing agar mampu menembus pasar internasional serta menjaga dominasi pasar dalam negeri. Sektor industri begitu penting karena merupakan salah satu sektor yang dapat menjadi tulang punggung pembangunan ekonomi dan kemajuan suatu negara. Industri kimia merupakan salah satu aset perkembangan industri yang saat ini dimiliki indonesia. (Hartarto, 2017).

Berbagai industri kimia yang berkembang dengan pesat di indonesia antara lain industri agrokimia, oleokimia, petro kimia dan sebagainya(Sulaiman, 2016). Industri petrokimia adalah industri yang berkembang berdasarkan suatu pola yang mengaitkan suatu produk-produk industri minyak bumi yang tersedia yang bersumber dari hasil pengolahan minyak bumi dan gas (gas alam), dengan kebutuhan masyarakat akan bahan kimia atau bahan konsumsi dalam kehidupan sehari-hari. Industri kimia tersebut menghasilkan berbagai macam produk kimia yang bertujuan memenuhi kebutuhan dalam negeri serta meningkatkan taraf hidup rakyat Indonesia ([www.kemenperin.go.id](http://www.kemenperin.go.id), 2017)

Industri petrokimia di indonesia sebagian besar merupakan penghasil produk-produk strategis yang akan digunakan pada industri hilir seperti industri

cat pewarna, kosmetik, obat-batan, plastik, karet sintetik, tekstil dan lain-lain (Hernandez, 2001). Oleh karena itu untuk menunjang perkembangan industri hilir di Indonesia dibutuhkan adanya industri yang dapat menyediakan dan memenuhi kebutuhan bahan baku maupun bahan penunjang industri tersebut. Salah satu contoh bahan kimia penunjang industri hilir yang masih mengalami impor untuk memenuhi dan mencukupi kebutuhan dalam negeri adalah *propylene glycol*.

Propilen glikol adalah senyawa organik dengan rumus kimia  $C_3H_8O_2$  yang memiliki sifat fisik cair dan tidak berwarna. Propilen glikol sering disebut juga dengan 1.2-propanediol atau 1.2-propilen glikol. Bahan kimia ini dapat dipakai dalam berbagai sektor industri kimia seperti:

1. Bahan pengawet maupun pelarut dalam industri minuman dan makanan
2. Dalam industri kosmetik digunakan sebagai campuran bahan pelembut atau pelembab
3. Dalam industri farmasi digunakan untuk formula dalam obat-obatan
4. Industri cat digunakan sebagai *addictive* yang berfungsi untuk penstabil viskositas dan penstabil warna
5. Bahan produk *antifreeze*
6. Senyawa poliester untuk industri atau komersial
7. Pelarut dalam cairan deterjen dan manufaktur

Kebutuhan propilen glikol di dalam negeri beberapa tahun ini terus meningkat. Namun hingga pada saat ini belum ada satu pun perusahaan yang

memproduksi bahan ini, sehingga membuat kebutuhan untuk industri dalam negeri masih mengandalkan dari pasokan impor.

Saat ini, berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS), nilai impor propilen glikol di Indonesia terus meningkat. Besarnya kebutuhan propilen glikol di Indonesia dapat dilihat dari jumlah impornya. Data statistik kebutuhan impor propilen glikol di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir ditunjukkan pada Tabel 1.1

Tabel 1.1 Data Kebutuhan Impor Propilen Glikol di Indonesia

Tahun	Impor (Ton)
2010	26119,670
2011	30770,940
2012	36983,281
2013	36456,668
2014	35743,138
2015	35217,807
2016	36748,374
2017	39816,224

Sumber: [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id), 2018

Dari tabel diatas, propilen glikol sangat dibutuhkan di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan pasar, sehingga pendirian pabrik propilen glikol sangat diperlukan.

Pertimbangan pendirian pabrik propilen glikol adalah:

1. Memenuhi kebutuhan propilen glikol dalam negeri sekaligus mengurangi ketergantungan impor propilen glikol

2. Membuka peluang dan pengembangan industri-industri yang menggunakan bahan baku propilen glikol
3. Menambah pendapatan negara sekaligus membuka lapangan pekerjaan baru

Dalam proses pembuatannya, propilen glikol dapat dilakukan dengan beberapa proses :

1. Pembuatan propilen glikol dengan Proses hidrolisis propilen oksida
  - a. Hidrolisis propilen oksida dengan menggunakan katalis asam
  - b. Hidrolisis propilen oksida tanpa katalis
  - c. Hidrolisis propilen oksida dengan katalis basa
2. Proses pembuatan propilen glikol dengan hidrogenasi gliserol

Proses yang digunakan dalam pembuatan propilen glikol dengan kapasitas 50.000 ton/tahun adalah proses hidrolisis tanpa katalis, hal ini karena proses ini menghasilkan nilai konversi yang tinggi serta sangat menguntungkan dari segi ekonomis. Penggunaan katalis asam maupun basa akan meningkatkan biaya dalam produksi, karena adanya pengadaan bahan tambahan katalis dan recycle katalis itu sendiri. Pembuatan propilen glikol pada umumnya menggunakan proses hidrolisis propilen oksida tanpa katalis, seperti pada pabrik Dow Chemical, yang terletak di Brazil, Jerman, dan Thailand.

Bahan baku yang digunakan pada pembuatan propilen glikol tanpa katalis adalah propilen oksida dan air dengan perbandingan mol propilen oksida dan air adalah 1 : 15(Ullivan dkk., 2012).. Proses ini menghasilkan konversi sebesar 90%

dengan produk berupa propilen glikol, dipropilen glikol dan tripopilen glikol dengan perbandingan 100:10:1. Reaksi berlangsung pada temperatur 180 - 220°C dengan tekanan 15 - 25 bar (Ullmann, 2012)

Hampir semua operasi dibidang proses industri pabrik propilen glikol dengan proses tanpa katalis melibatkan transfer panas atau operasi perpindahan panas. Terdapat beberapa jenis *Heat Exchanger* yang ada di pabrik propilen glikol ini. Salah satunya yaitu *Heat exchanger* E-01.

*Heat Exchanger* adalah suatu peralatan yan digunakan untuk mentransfer kalor dari air proses pada suatu industri ke air pendingin melalui dinding-dinding *Heat Exchanger* secara konveksi. Salah satu jenis dari *Heat Exchanger* ini adalah *Sheel and Tube Heat Exchanger*.

Dalam proses desain *Shell and Tube Heat Exchanger* sangat diperlukan untuk mengetahui factor-faktor apa saja yang mempengaruhi Ukuran dari *Shell and Tube Heat Exchanger* itu serta pertimbangan desainnya. Oleh karena itu pada prarancangan pabrik propilen glikol ini akan dibahas secara spesifik desain *heat exchanger* jenis *shell and tube*.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Beberapa masalah yang akan dibahas diantaranya:

1. Bagaimana langkah desain alat penukar kalor atau *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada pabrik propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis pada kapasitas 50.000 ton/ tahun?



2. Bagaimana hasil perancangan penukar kalor atau *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada pabrik propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis pada kapasitas 50.000 ton/ tahun?

### **1.3 Tujuan**

Secara khusus penelitian ini bertujuan, antara lain :

1. Mengetahui langkah-langkah perancangan penukar kalor atau *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada pabrik propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis pada kapasitas 50.000 ton/ tahun
2. Mengetahui hasil perancangan penukar kalor atau *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada pabrik propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis pada kapasitas 50.000 ton/ tahun

### **1.4. Manfaat**

1. Memberikan pengetahuan mengenai langkah perancangan penukar kalor atau *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada pabrik propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis pada kapasitas 50.000 ton/ tahun
2. Dapat mengetahui kelayakan operasi penukar kalor atau *heat exchanger* jenis *shell and tube* pada pabrik propilen glikol dengan proses hidrolisis tanpa katalis pada kapasitas 50.000 ton/ tahun

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Perpindahan Panas/ Kalor**

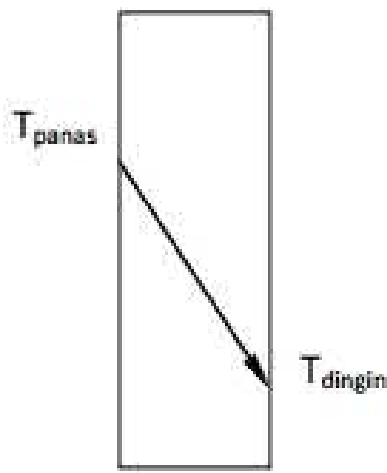
Perpindahan panas atau perpindahan kalor merupakan salah satu disiplin bidang ilmu dalam jurusan teknik kimia yang mempelajari perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur diantara material atau komponen. Dalam termodinamika telah kita ketahui bahwa energi yang berpindah satu tempat ketempat yang lain itu dinamakan dengan kalor. Ilmu perpindahan kalor tidak hanya mempelajari tentang bagaimana energi kalor tersebut berpindah dari suatu benda ke benda lain, namun juga dapat digunakan untuk meramalkan laju perpindahan yang terjadi pada kondisi tertentu. Proses untuk melakukan peramalan ini membutuhkan analisis yang lebih mendalam, sehingga inilah yang membedakan ilmu termodinamika dengan ilmu perpindahan kalor (*heat*). (holman, 1995)

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 terjadipula proses pertukaran panas dan kemudian akan berhenti disaat telah terjadi kesetimbangan suhu. Contohnya, kopi panas ke lingkungan yang memiliki temperatur 20°C, kemudian terjadi perpindahan panas hingga mencapai kesetimbangan suhu antara gelas dan lingkungan. (Cengel, 2003).

## 2.2 Mekanisme Perpindahan Panas

### 2.2.1 Konduksi

Perpindahan panas secara konduksi dapat terjadi pada Suatu material bahan yang mempunyai *gradient*, maka kalor akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat. Kalor akan mengalir dari daerah bersuhu tinggi ke daerah bersuhu rendah dalam suatu medium (padat, cair, gas). Aliran kalor seperti ini disebut konduksi atau hantaran karena antara medium yang satu dengan yang lainnya bersinggungan secara langsung (Mc. Cabe, 1993).



Gambar 2.1 Perpindahan panas konduksi pada dinding

Laju aliran kalor secara konduksi dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots$$

(J.P. Holman,hal: 33)

keterangan :

$q_k$  = laju aliran kalor (W)

$k$  = konduktifitas termal bahan (W/m<sup>2</sup>. °C)

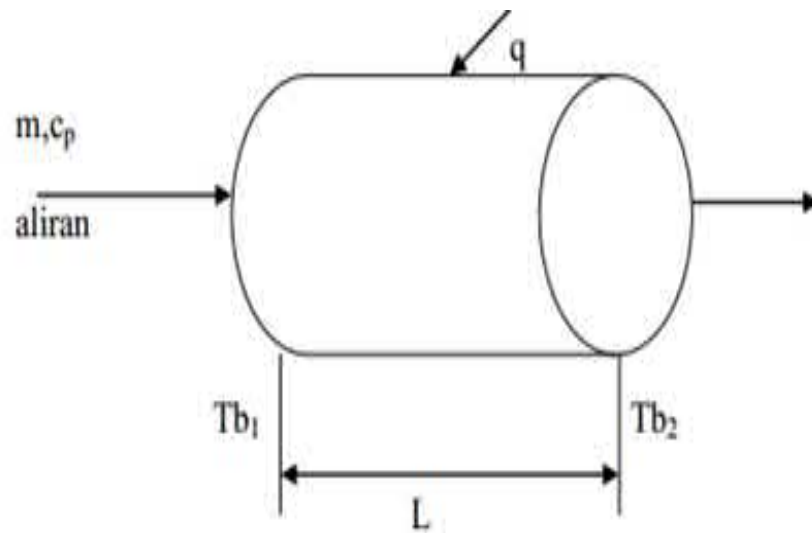
$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$dT/dx$  = gradient suhu terhadap penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu T terhadap jarak dalam arah aliran panas x

### 2.2.2 Konveksi

Proses perpindahan panas secara konveksi adalah pengangkutan kalor oleh gerak dari zat yang dipanaskan. Proses konveksi terjadi pada permukaan material dan merupakan satu fenomena permukaan. Proses perpindahan panas secara konveksi juga dapat didefinisikan dengan proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi kalor, penyimpanan energi dan gerakan menampur.

Keadaan permukaan dan keadaan sekelilingnya serta kedudukan permukaan itu merupakan yang utama. Pada umumnya keadaan keseimbangan termodinamika di dalam bahan akibat proses konduksi, suhu permukaan bahan akan berbeda dari suhu sekelilingnya. (Kern, 1950)



Gambar 2.2 Perpindahan panas konveksi

Laju perpindahan panas konveksi pada suhu tertentu dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$q = -hA (T_w - T_\infty) \dots\dots\dots$$

keterangan :

$q$  = laju aliran kalor (W)

$h$  = koefisien perpindahan panas konveksi (W/m<sup>2</sup>. °C)

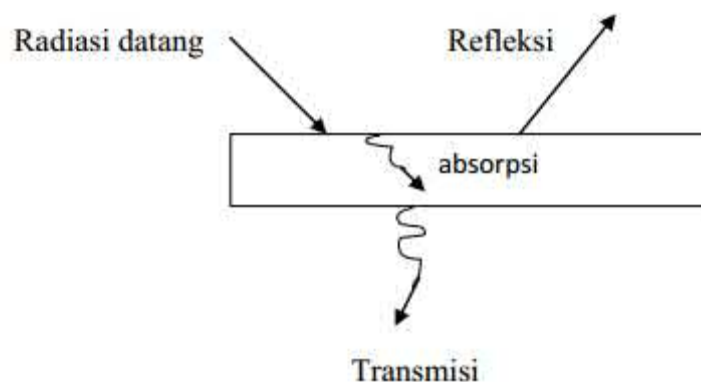
$A$  = luas penampang (m<sup>2</sup>)

$T_w$  = temperatur dinding (°C, K)

$T_\infty$  = temperatur sekeliling dinding (°C, K)

### 2.2.3 Radiasi

Pada proses perpindahan panas secara radiasi, panas yang ada 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. (Holman,1995)



Gambar 2.3 Perpindahan panas konveksi

Energi radiasi dikeluarkan oleh benda karena suhu yang dimiliki, yang dipindahkan melalui ruang antara, dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Bila energi radiasi mengenai suatu bahan, maka sebagian dari radiasi akan dipantulkan, sebagian diserap dan sebagian lagi diteruskan. Sedangkan besarnya energi :

$$Q_{\text{pancaran}} = \sigma AT^4 \dots\dots\dots$$

keterangan :

$Q_{\text{pancaran}}$  = laju aliran kalor (W)

$\sigma$  = konstanta bolztman ( $5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ )

A = luas permukaan benda ( $\text{m}^2$ )

T = suhu absolut benda ( $^{\circ}\text{C}$ , K)

### 2.3 Alat Penukar Panas

Alat penukar panas adalah alat pendukung proses yang sering digunakan untuk memindahkan panas, dapat berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin. Alat penukar panas dirancang sedemikian rupa agar mendapatkan perpindahan panas antar fluida yang berlangsung secara efisien. Pada alat penukar panas terjadi pertukaran panas karena adanya kontak balik antara fluida terdapat dinding yang memisahkan maupun keduanya bercampur secara langsung atau *direct contact* (Syaichurrozi, Iqbal, et al., 2014)

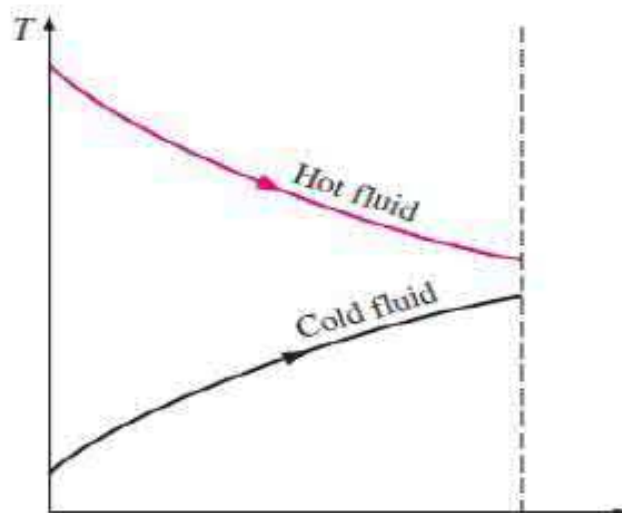
Alat Penukar kalor(*heat*) banyak digunakan dalam industri maupun pada alat-alat rumah tangga. Sebagai contoh dalam kehidupan sehari-hari sering dijumpai peralatan masak memasak yang semuanya sebenarnya merupakan alat penukar kalor. Di dalam kendaraan maupun alat transportasi lainnya banyak ditemukan radiator maupun alat pengkondisi udara kabin, yang keduanya juga merupakan penukar kalor.alat penukar panas (*heat exchanger*)

juga banyak digunakan di banyak aplikasi keteknikan, seperti pada berbagai industri kimia, pembangkit listrik, penyulingan minyak bumi, pendingin, industri makanan, dan sebagainya.

### 2.3.1 Aliran Heat Exchanger

#### 1. Aliran *Co-Current*

Aliran *co-current* adalah aliran searah, dimana pada aliran ini fluida panas dan fluida dingin masuk melalui sisi penukar yang sama, kemudian mengalir dengan arah yang sama dan keluar pada sisi yang sama. Penukar panas yang menggunakan aliran searah memiliki karakter temperatur fluida yang memberikan energi akan selalu lebih tinggi dengan fluida yang menerima energi (Cengel, 2003).

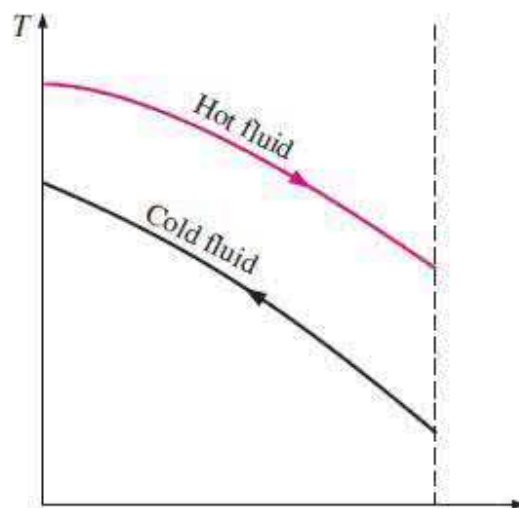


Gambar 2.4 Profil temperatur aliran *co-current*



## 2. Aliran *Counter-Current*

Penukar panas jenis ini, fluida panas dan fluida dingin masuk dan keluar penukar pada sisi yang berlawanan. pada tipe ini memungkinkan terjadi temperatur fluida dingin yang keluar dari penukar panas lebih tinggi dibandingkan temperatur fluida panas yang keluar dari penukar panas (*heat*) (Cengel, 2003).



Gambar 2.5 Profil temperatur aliran *counter-current*

### 2.3.2 Tipe – tipe Heat Exchanger

#### 1. Double Pipe *Heat Exchanger* (Penukar Panas Pipa Rangkap)

Alat penukar kalor (*heat*) tipe *Double-Pipe Exchanger* terdiri atas dua buah pipa yang tersusun secara konsentris. Penukar pipa model ini biasanya terdiri dari beberapa line pipa yang disusun secara vertikal. Pada alat ini, proses perpindahan panas terjadi secara tidak langsung (*indirect contact type*),

karena terdapat dinding pemisah antara kedua fluida (panas dan dingin) sehingga kedua fluida tidak bercampur. Fluida yang memiliki suhu lebih rendah (fluida pendingin) mengalir melalui pipa kecil, sedangkan fluida dengan suhu yang lebih tinggi mengalir pada pipa yang lebih besar (pipa annulus). Perpindahan kalor yang terjadi pada fluida adalah proses perpindahan panas secara konveksi, sedang proses konduksi terjadi pada daerah dinding pipa. Kalor mengalir dari fluida yang bertemperatur tinggi ke fluida yang bertemperatur rendah. Tipe aliran yang digunakan adalah aliran yang kedua fluidanya berseberangan atau murni *counter current*.

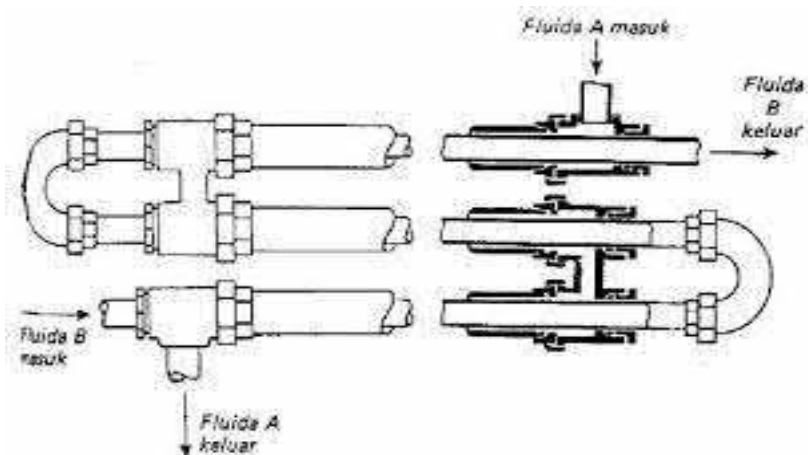
*Double-Pipe Exchanger* diperuntukkan sebagai penukar panas pada proses dengan kapasitas kerja cukup kecil, yaitu dengan luas penampang kurang dari 200 ft<sup>2</sup> dan cocok digunakan pada kondisi tekanan tinggi (Kuppan, 2013). Penukar panas jenis ini memiliki tingkat fleksibilitas dan yang tinggi karena unitnya dapat dilakukan penambahan atau pengurangan sesuai kebutuhan, dengan desain yang mudah dalam pengoperasiannya dan peralatan yang digunakan sudah distandarisasi sehingga memiliki kualitas yang baik. Alat penukar panas jenis ini lebih sering digunakan dalam bentuk pipa-U dan dikenal dengan nama *hairpin exchanger*

*Hairpin Heat Exchangers* adalah desain yang memiliki tingkat efisiensi yang paling tinggi untuk menangani proses dengan kondisi keluaran fluida lebih panas memiliki temperatur yang lebih rendah dibanding temperatur keluaran fluida dingin dan menghasilkan luas permukaan kontak yang paling

kecil. Selain itu, penukar panas jenis ini juga banyak digunakan untuk mengoperasikan fluida dengan nilai pengotor yang tinggi, seperti *slurry*.

*Hairpin Heat Exchangers* bisa digunakan apabila memenuhi satu atau lebih dari berbagai kondisi berikut:

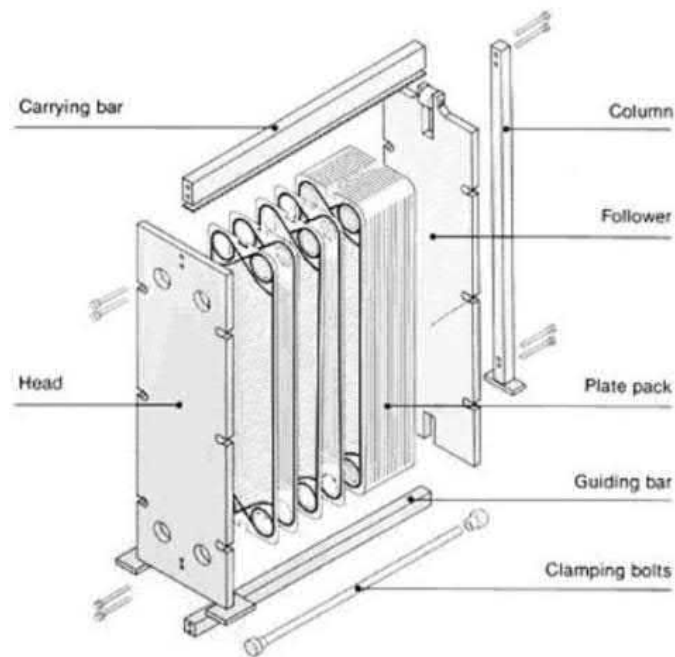
1. Fluida bertekanan tinggi
2. Proses perpindahan panas terjadi secara *temperature cross*
3. *Pressure drop* yang diperbolehkan sangat rendah
4. Fluida kerja mengandung partikulat padat atau pengotor berupa *slurry*
5. Proses bersifat siklik
6. Ketika alat penukar panas menjadi subjeck dari perubahan panas mendadak
7. Ketika terjadi *flow-induced vibration*



Gambar 2.6 Double pipe heat exchanger

## 2. *Plate and Frame Heat Exchanger*

*Plate Heat Exchanger* merupakan penukar panas yang terdiri dari Pelat (*plate*) dan Rangka (*frame*). Dalam *Plate Heat Exchanger*, beberapa pelat disusun dengan susunan tertentu, sehingga terbentuk dua jalur (*line*) yang disebut dengan *cold Side* dan *hot Side*. *Hot Side* dialiri fluida dengan temperatur relatif lebih tinggi dan *Cold Side* dialiri fluida dengan temperatur relative lebih kecil. pelat logam digunakan sebagai media untuk mentransfer panas antara dua cairan. Pemisah antara pelat-pelat tersebut dipasang penyekat lunak. Pelat-pelat dari sekat ditentukan oleh suatu perangkat penekan yang pada setiap sudut pelat terdapat lubang pengalir fluida, fluida mengalir pada sisi yang lain, sedangkan fluida yang lain mengalir melalui lubang dan ruang pada sisi sebaliknya karena ada sekat (Artono, 2002)



Gambar 2.7 *Plate and Frame Heat Exchanger*

*Plate Heat Exchanger* memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan sebagai berikut:

Kelebihan *Plate and Frame Heat Exchanger*:

1. Mudah dalam perawatan dan pembersihan
2. Mempunyai perpindahan panas yang efisien.
3. Waktu tinggal media cukup pendek
4. Mudah dalam proses pembersihan
5. Plate and Frame lebih fleksibel, dapat dengan mudah pelatnya ditambah
6. Dapat digunakan untuk fluida dengan tingkat kekentalan yang tinggi
7. Aliran turbulensinya mengurangi peluang terjadinya fouling dan sedimentasi
8. Biaya yang dibutuhkan cukup rendah

Kekurangan *Plate and Frame Heat Exchanger*:

1. Pemilihan gasket harus sesuai dan tepat
2. Kondisi operasi yang terbatas pada temperatur 250°C dikarenakan performa dari material gasket yang sesuai.
3. *Plate and Frame Heat Exchanger* tidak bisa digunakan pada kondisi tekanan lebih dari 30 bar.

### 3. *Shell and Tube Heat Exchanger*

*shell and tube heat exchanger* merupakan salah satu jenis penukar panas yang banyak digunakan dalam proses industri. Alat penukar panas ini terdiri dari sebuah tabung (*shell*) dimana didalamnya terdapat suatu berkas (*bundle*) pipa dengan diameter yang relative kecil. *Heat exchanger* jenis ini biasa digunakan pada proses industri yang memiliki proses dengan jumlah fluida yang dipanaskan atau didinginkan dalam jumlah besar. Desain alat ini dapat memberikan luas area penampang atau area penukar panas yang besar dan memberikan nilai efisiensi perpindahan panas yang besar.

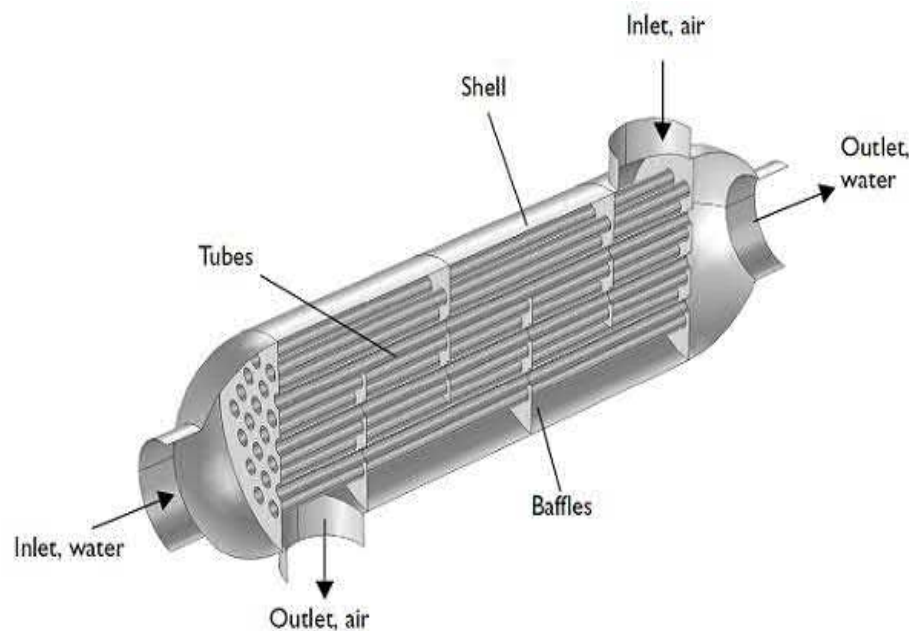
Dalam *shell and tube heat exchanger* terdapat beberapa jumlah *tube* dalam susunan parallel atau seri dimana Salah satu fluida mengalir didalam *tube*, sedangkan fluida lainnya mengalir di luar *tube*. Untuk meningkatkan nilai efisiensi pertukaran panas, biasanya pada penukar panas shell and tube dipasang sekat (*baffle*). Ini bertujuan untuk membuat turbulensi aliran fluida dan menambah waktu tinggal fluida (*residence time*), namun pemasangan sekat akan memperbesar *pressure drop* operasi dan menyebabkan beban kerja pompa bertambah berat, sehingga laju alir fluida harus diatur sedemikian rupa.

Dari semua tipe alat penukar panas, *shell & tube* memiliki sejumlah keunggulan diantaranya :

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.

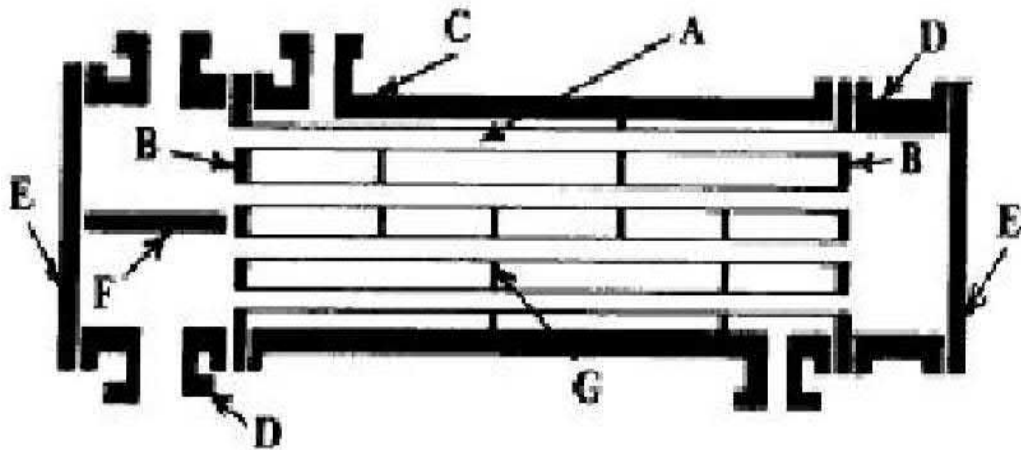
(Bell K.J,1983)



Gambar 2.8 *Shell and Tube Heat Exchanger*

### 2.3.3 Komponen – komponen pada Shell and Tube Heat Exchanger

Alat penukar panas *Shell and Tube* memiliki komponen – komponen yang sangat berpengaruh dan menunjang kinerja alat. Adapun komponen – komponen dari alat penukar kalor tipe ini adalah



Gambar 2.9 Komponen-komponen alat penukar kalor tipe *shell and tube*

A. Tubes

B. Tube sheets

C. Shell and shell side nozzles

D. Tube side channels and nozzles

E. Channel Covers

F. Pass divider

G. Baffles



### 2.3.4 Langkah – langkah Perancangan Shell and Tube Heat Exchanger

Sebelum mendesain alat penukar kalor, dibutuhkan data primer dari laju fluida seperti temperatur masuk dan keluar serta tekanan operasi masing-masing fluida. Data ini dibutuhkan terutama untuk fluida gas jika besar densitas fluida gas tidak diketahui. Untuk fluida berupa cairan, data tekanan operasi tidak terlalu dibutuhkan karena sifat-sifatnya tidak banyak berubah apabila tekanannya berubah. Langkah-langkah yang dilakukan dalam merencanakan atau mendesain alat penukar kalor sebagai berikut :

1. Penentuan *heat duty* (Q) yang diperlukan penukar kalor yang direncanakan harus memenuhi atau melebihi syarat ini.
2. Menentukan ukuran (*size*) alat penukar kalor dengan perkiraan yang masuk akal untuk koefisien perpindahan kalor keseluruhannya.
3. Menentukan fluida yang akan mengalir di sisi tube atau shell. Biasanya sisi tube direncanakan untuk fluida yang bersifat korosif, beracun, bertekanan tinggi, atau bersifat mengotori dinding. Hal ini dilakukan agar lebih mudah dalam proses pembersihan atau perawatannya.
4. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah tube yang digunakan dengan menggunakan rumus :

$$A = N_t (\pi) L \dots\dots\dots$$

Dimana :

= Diameter luar tube (mm)

L = Panjang tube (mm)

5. Menentukan ukuran *shell*. Langkah ini dilakukan setelah kita mengetahui jumlah tube yang direncanakan. Kemudian perkirakan jumlah *pass dan tube pitch* yang akan digunakan.
6. Langkah selanjutnya adalah memperkirakan jumlah *baffle* dan jarak antar *baffle* yang akan digunakan. Biasanya *baffle* memiliki jarak yang seragam dan minimum jaraknya 1/5 dari diameter *shell* tapi tidak kurang dari 2 inchi.
7. Langkah yang terakhir adalah memeriksa kinerja dari alat penukar kalor yang telah direncanakan. Hitung koefisien perpindahan panas di sisi tabung dan sisi shell. Hitung factor pengotornya apakah sesuai dengan standar yang diizinkan, dan penurunan tekanan di sisi *tube dan shell*.

## 2.4 Alat Penukar Panas Shell and Tube

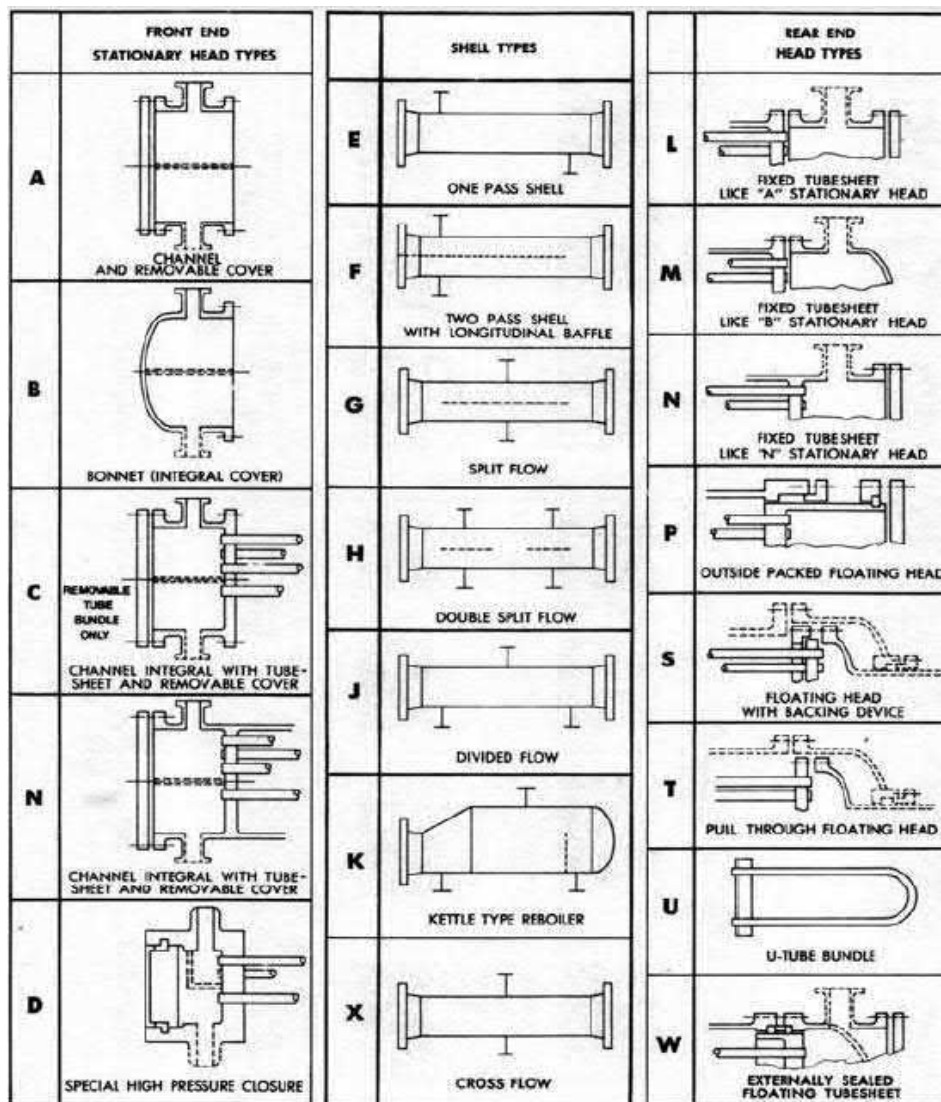
Dalam penguraian komponen-komponen *heat exchanger* jenis *shell and tube* akan dibahas beberapa komponen yang sangat berpengaruh pada konstruksi *heat exchanger*.

### 2.4.1 Komponen STHE ( Shell and Tube Heat Exchanger)

Komponen-komponen atau bagian-bagian pembentuk STHE terdiri dari

1. *shell* (selubung/cangkang)

2. *shell cover* (penutup shell pada ujung)
3. *tubes* (pipa)
4. *channel* (saluran)
5. *channel cover* (penutup saluran)
6. *tubesheet* (pelat pengikat pipa)



Gambar 2.10 Jenis shell berdasarkan TEMA

## 2.4.2 Baffle Alat Penukar Panas

*Baffle* pada alat penukar panas memiliki fungsi meningkatkan nilai efisiensi perpindahan panas. Biasanya pada shell and tube dipasang sekat (*baffle*). Hal ini bertujuan untuk membuat turbulensi pada aliran fluida dan menambah waktu tinggal fluida. Namun pemasangan *baffle* akan berakibat peningkatan nilai *pressure drop* dan menambah beban kinerja pompa, sehingga mengakibatkan laju alir fluida harus diatur serta memperlama waktu kontak antara fluida.

Jarak pusat *baffle* disebut dengan *baffle pitch* atau *baffle spacing*. *Baffle spacing* biasanya didesain dengan jarak tidak lebih besar dari dengan besar diameter dalam shell atau jarak yang sama 1 -5 diameter dalam shell. Nilai *baffle spacing* minimum pada umumnya 1/5 dari besar diameter shell

*Baffle* dipasang untuk tujuan perpindahan panas. Saat *shell side bafflenya* tidak sesuai lagi untuk tujuan transfer panas, maka perlu ditambahkan pendukung tube.

Jenis-jenis *baffle* :

### a. Segmental Baffle

Baffle dengan jenis ini lebih umum digunakan. *Segmental baffle* melubangi *plate* dengan tinggi 75 % dari diameter dalam *shell*. rasio antara panjang segmen / bagian pembuka dengan diameter dalam *shell* disebut dengan *Baffle cut*. perencanaan ini tidak sesuai untuk kondenser horizontal, karena

kondensat bisa jadi ditrap antara *baffle* atau untuk fluida kotor dimana kotorannya mau dikeluarkan.

*Vertikal cut baffle* digunakan untuk *side-to-side flow* di alat penukar panas horizontal dengan fluida kondensasi atau fluida kotor. Pada umumnya tube didesain dengan *triangular equilateral*. Tube dibuat persegi biasanya digunakan bertujuan untuk pembersihan mekanik pada removable *bundle exchanger*. Maximum *baffle cut* adalah dibatasi sebesar 50 % sehingga setiap pasangan *baffle* dapat / akan mendukung tiap *tube*. *Bundle tube* pada umumnya dilengkapi dengan *baffle cut*. Maximum *shell-side heat transfer rate* pada perpindahan panas konveksi paksa oleh cross flow fluida pada sudut kanan *tube*.

b. Orifice Baffle

*Baffle* jenis ini terdiri dari disc dengan lubang-lubang yang mempunyai ukuran lebih besar dari diameter tabung. Aliran fluida mengalir melalui *annular orifice* dan menimbulkan pengaruh olakan pada fluida. Desain dari *baffle* ini jarang dipakai karena efisiensi yang rendah.

c. Vertical cut baffle

Baik untuk liquid yang membawa suspended matter atau yang *heavy fouling fluida*.

d. Window Cut Baffle

*Window Cut Baffle* umumnya dibuat terdiri dari 3 dalam 1 kelompok. Desain ini dimaksudkan untuk mengurangi *pressure drop shell side*.

e. Longitudinal baffle

Digunakan pada *shell side* untuk membagi aliran *shell side* menjadi dua atau beberapa bagian untuk memberikan kecepatan yang lebih tinggi untuk perpindahan panas yang lebih baik.

f. Impingement Baffle

Sekat jenis impingement ini berbeda dengan sekat-sekat sebelumnya, sekat ini akan secara langsung mengenai kepada aliran fluida yang masuk kedalam cangkang (*shell*) suatu alat penukar panas. Sekat ini dipasang pada saluran masuk fluida kedalam cangkang dengan tujuan untuk mencegah partikel-partikel padat keluar, serta untuk mengatasi kecepatan tinggi dari aliran fluida yang masuk ke cangkang

g. Tie Rods and Spacer

Banyaknya aliran fluida pada sisi cangkang (*shell*) atau di luar pipa-pipa sangat tergantung sekali pada luasan antara pipa-pipa dengan sekatnya. Dengan demikian sekat atau penahan pipa-pipa dibuat berselang-seling.

Sekat batang (*rod baffle*) merupakan kombinasi antara sekat pelat dengan sekat batang. Kontruksinya terbuat dari batang dan pelatnya merupakan cincin

sekkat (*baffle ring*) dimana satu dengan yang lainnya dipadukan oleh batang yang menyorong (*skid bar*).

### 2.4.3 Susunan dan Jumlah Tube

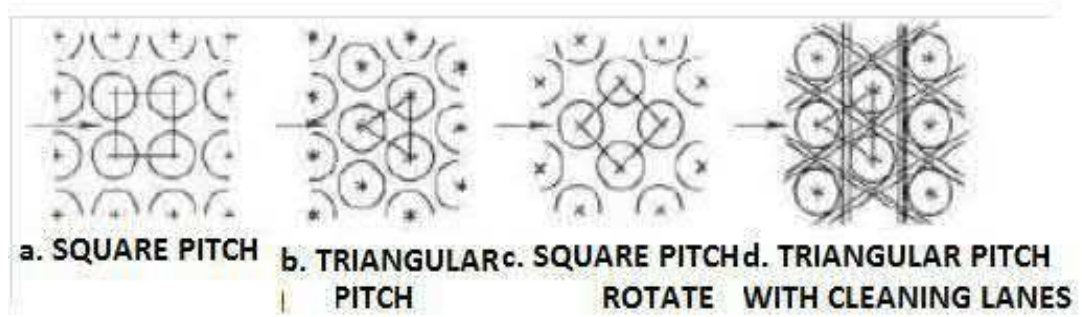
Susunan dan jumlah *tube* akan mempengaruhi efisiensi perpindahan panas. Sehingga harus memperhatikan beberapa hal seperti :

1. Sistem pemeliharaan yang akan dilakukan (secara kimiawi atau mekanikal)
2. Aliran yang terjadi *laminar* atau *turbulent*
3. Bersih atau kotor aliran fluida yang mengalir di luar *tube* juga mempengaruhi susunan dari *tube*.

Biasanya disusun dalam bentuk *equilateral triangular*, *rotated triangular*, *square* atau *rotated square*. Susunan *triangular* dan *rotated square* memberikan laju perpindahan panas lebih tinggi..

Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah :

1. Square pitch
2. Triangular pitch
3. Square pitch rotated
4. Triangular pitch with cleaning lanes (Kern, 1980)



Gambar 2.11 Jenis-jenis *tube pitch*



## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Simpulan

1. Shell and tube heat exchanger merupakan jenis alat penukar kalor yang banyak digunakan pada suatu proses industri. Shell and tube heat exchanger menawarkan area penukaran panas yang besar dan menyediakan nilai efisiensi perpindahan panas yang tinggi
2. Fluida dingin masuk heat exchanger (E-01) pada temperatur 303,15 K dan pada tekanan 1 atm. Sedangkan fluida dingin keluar pada temperatur 453,15 K.
3. Fluida panas masuk heat exchanger (E-01) pada temperatur 489,58 K dan pada tekanan 1 atm. Sedangkan fluida panas keluar pada temperatur 424,60 K.
4. Heat exchanger menggunakan bahan *Carbon Steel SA 283 grade C* karena memiliki harga yang relatif murah, tahan terhadap bahan dengan sifat korosi dan tahan terhadap tekanan tinggi.
5. Jumlah tube, panjang tube, diameter luar tube, tebal tube, dan luas area perpindahan panas masing-masing adalah 204 buah, 0,4064 meter, 0,01905 meter, 18 dan 0,1963 lin/ft<sup>2</sup>
6. Nilai *fouling factor* (Rd) desain adalah 0,00205 ft<sup>2</sup>.jam.F/Btu. Nilai Rd desain lebih besar daripada *fouling factor* (Rd) aktual yaitu 0,00200 ft<sup>2</sup>.jam.F/Btu disebabkan karena semakin banyak beban panas yang dapat dilepaskan Q (kalor) maka nilai Rd akan semakin tinggi.

## 5.2 Saran

1. Pemilihan jenis heat exchanger dapat dilakukan dengan mempertimbangkan proses yang akan dilakukan dan fluida yang digunakan.
2. Dalam meminimalkan terjadinya korosi pada alat penukar panas jenis shell and tube, maka dapat dilakukan pemilihan material yang memiliki sifat tahan terhadap korosi seperti *Carbon Steel SA 283 grade C*.

## DAFTAR PUSTAKA

- Artono Koestoer, Raldi., 2002, Perpindahan Kalor, Jakarta:Salemba Teknika
- Badan Pusat StatistikBanten. 2018. Keadaan Ketenagakerjaan Banten Februari 2018.Banten:Badan Pusat Statistik.
- BELL K.J, "Heat Exchanger Design Hand-Book (HEDH)", Bab 3, 4 dan 5, HemispherePublish Corp, Washington DC, 1983.
- Cengel, Yunus A., 2003, Heat Transfer A Practical Approach, Second Edition, Singapura:Mc.Graw-Hill Book.
- Hartarto, A. 2017. Rencana Kerja Kementerian Perindustrian Tahun 2018. Kementerian Perindustrian 2017.
- Hernandez, O. 2001. 1,2-Dihydroxypropane. Amerika Serikat: Unep Publication.
- Holman, J.P., 2005, Perpindahan Kalor, Jakarta:Erlangga
- Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. 2018. Direktori Perusahaan Industri. Jakarta : Kemenprin.Diakses dari <http://www.kemenperin.go.id/direktori-perusahaan> (23 Oktober 2018)
- Kern, Donald Q. 1983. *Process Heat Transfer*. The McGraw-Hill Companies, Inc. Tokyo.
- Kirk, R.E., dan Othmer, D.F. 1983. *Encyclopedia of Chemical Engineering Technology*. New York: John Wiley and Sons Inc..
- Mc.Cabe, W.L., 1999, Operasi Teknik Kimia,Jilid I Edisi 4, Jakarta:Erlangga.
- McKetta, J.J. and Cunningham, W. A. 1993. *Encyclopedia of Chemical Processing and Design*, vol. 45, Marcel Decker, Inc, New
- Sulaiman, F. 2016. Mengenal Industri Petrokimia. Untirta Press:Banten. ISBN. 9786021013526.
- Smith, J.M, Van Ness, H.C, Abbott, M.M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6<sup>th</sup> ed.* The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Syaichrozi, Iqbal., dkk. 2014. Kajian Performa Alat Penukar Panas *Plate and Frame* : Pengaruh Laju Alir Massa, Temperatur Umpan dan Arah Aliran Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh. Jurnal Teknik Kimia FT Univ Sultan Agung Tirtayasa
- Thulukkanam, Kuppan., 2013, *Heat Exchanger Design Handbook, Second Edition*,Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group

- Ullmann's. 2012. Encyclopedia of Industrial Chemistry. Wiley-VCH Verlag & Co.KGaA. Weinheim.
- Ulrich, G. D. (1984). *A guide to chemical engineering process design and economics* (p. 295). New York: Wiley.
- Yaws. 2009. Thermodynamic and Physical Properties Data. Singapore:Mc Graw Hill Book Co..
- Yaws, C. L. 1999. Chemical Properties Handbook: Physical, Thermodynamic, Environmental, Transport, Safety, and Health Related Properties for Organic and Inorganic Chemicals.The McGraw-Hill Companies, Inc. New York