



*Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan  
Pemanas Steam pada Ethanolamine Plant*

Skripsi

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana

Teknik Program Studi Teknik Kimia

Oleh

Ayu Fatikha Sari

NIM. 5213415007

**TEKNIK KIMIA**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2019**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Ayu Fatikha Sari  
NIM : 5213415007  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul : Perancangan Pabrik *Ethanolamine* dengan Bahan Baku  
*Ammonia Aqueous* Kapasitas 50.000 Ton/Tahun.

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

Semarang, 12 Juli 2019

Pembimbing,



Dr. Widi Astuti, S.T., M.T.  
NIP.19731017200003001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul “*Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan Pemanas Steam pada Ethanolamine Plant*” telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang pada tanggal 25 bulan Juli tahun 2019.

Oleh:

Nama : Ayu Fatikha Sari  
NIM : 5213415007  
Program Studi : S-1 Teknik Kimia

Ketua Panitia



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

Sekretaris



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

Penguji 1



Bayu Triwibowo, S.T., M.T.  
NIP. 198811222014041001

Penguji 2



Rr. Dewi Artanti Putri, S.T., M.T.  
NIP. 198711192014042002

Pembimbing



Dr. Widi Astuti, S.T., M.T.  
NIP. 19731017200003001

Mengetahui  
Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang



Dr. Nur Qudus, 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, baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan perancangan 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, 26 Juli 2019

Penulis



Ayu Fatikha Sari

NIM. 5213415007

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO**

*“Semakin kau peduli bagaimana dirimu terlihat di hadapan Allah, semakin kau tak peduli bagaimana dirimu terlihat di hadapan manusia (Yasmin Mogahed)”*

### **PERSEMBAHAN**

1. Tuhan Yang Maha Esa.
2. Ibu dan Bapak
3. Kakak dan Adik
4. Saudaraku
5. Dosen-dosenku.
6. Sahabat-sahabatku.
7. Almamaterku

### Abstrak

Sari, Ayu Fatikha. 2019. *Shell and Tube Heat Exchanger Design* pada *Heater* dengan Pemanas *Steam* pada *Ethanolamine Plant*. Skripsi: Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Dosen Pembimbing: Dr. Widi Astuti, S.T.,M.T.

Proses pembuatan *ethanolamine* dilakukan dengan merekasikan *ammonia* dan etilen oksida pada *multitube plug flow reactor*. Reaksi tersebut berlangsung pada suhu  $75^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 15 atm. Reaksi berlangsung secara eksotermis, produk yang dihasilkan ada 3 macam yakni, *monoethanolamine*, *diethanolamine*, *triethanolamine*. Pabrik rencananya akan didirikan di Bontang, Kalimantan Timur dengan luas area yang diperlukan sebesar  $15.540\text{ m}^2$ , dan jumlah tenaga kerja sebanyak 220 pekerja.

Alat penukar panas (*Heater*) adalah suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan satu fluida ke fluida lainnya. Pada umumnya fluida yang digunakan sebagai pendingin memakai air biasa (*Cooling Water*), dan media panas memakai uap panas sebagai pemanas (*Superheated Steam*). Salah satu tipe dari alat penukar kalor yang banyak dipakai dalam industri pembangkit listrik adalah *Shell and Tube Heat Exchanger*. Hasil dari perhitungan *Shell and Tube Heat Exchanger* adalah *Clean Overall Coefficient* sebesar  $339,8733\text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$ , *Design Overall Coefficient* sebesar  $146,6917\text{ Btu/jam.ft}^2.\text{F}$ , *Fouling Factor Calculation* sebesar  $0,0038\text{ ft}^2.\text{jam.F/Btu}$  dan jumlah *tube* 166 *tube*.

Kata Kunci : Pabrik *ethanolamine*, *Heater*, dan *Shell and Tube Heat Exchanger*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Shell and Tube Heat Exchanger Design pada Heater dengan Pemanas Steam pada Ethanolamine Plant*”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan 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
3. Dr. Widi Astuti S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah berkenan meluangkan waktunya serta penuh kesabaran memberikan bimbingan, motivasi, pengarahan dalam penyusunan skripsi.
4. Bayu Triwibowo, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
5. Rr. Dewi Artanti Putri S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan masukan dan pengarahan dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Orangtua dan keluarga yang telah memberikan perhatian dan dukungannya.
7. Teman-teman angkatan 2015 dan semua pihak yang telah memberi bantuan untuk karya tulis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk perkembangan ilmu pengetahuan maupun industri di masyarakat.

Semarang, 25 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	ii
PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	v
ABSTRAK.....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Identifikasi Masalah .....	3
1.3 Pembatasan Masalah .....	3
1.4 Rumusan Masalah .....	3
1.5 Tujuan Penelitian .....	4
1.6 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Ethanolamine .....	5
2.2 Proses Pembuatan ethanolamine .....	6
2.3 Perpindahan Panas.....	8
2.4 Alat Penukar Panas (Heat Exchanger) .....	9
2.5 Tipe Heat Exchanger.....	10
2.5 Shell and Tube Heat Exchanger .....	11
2.6 Prinsip Kerja Shell and Tube Heat Exchanger.....	12
2.7 Tipe Aliran dalam Shell and Tube Heat Exchanger.....	12
2.8 Komponen Penyusun Shell and Tube Heat Exchanger.....	14
2.9 Pemilihan Fluida yang dilewatkan Shell and Tube .....	17
<b>BAB III METODE PERHITUNGAN</b>	
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.3 Metode Perhitungan .....	20
3.3.1 Menentukan Properti Fluida Panas dan Dingin.....	20
3.3.2 Menentukan Dimensi Alat .....	21
<b>BAB IV HASIL PERHITUNGAN</b>	
4.1 Tujuan Pembuatan Heater .....	25
4.2 Menentukan Tipe Exchanger.....	25
4.3 Menentukan Bahan Konstruksi Exchanger .....	25
4.4 Menentukan Properti Fluida Panas dan Dingin.....	25
4.4.1 Menentukan Laju Massa dan Panas .....	26
4.4.2 Menghitung Viskositas Fluida Panas dan Dingin .....	26
4.4.3 Menghitung Konduktivitas Fluida Panas dan Dingin .....	28



4.4.4 Menghitung Kapasitas Panas Fluida Panas dan Dingin.....	30
4.4.5 Menentukan Densitas Fluida Panas dan Dingin.....	32
4.5 Menentukan Dimensi Alat .....	33
4.5.1 Menentukan $\Delta_{LMTD}$ .....	33
4.5.2 Menghitung Caloric Temperature .....	34
4.5.3 Menentukan $U_d$ Asumsi.....	34
4.5.4 Menentukan Luas Permukaan Panas.....	34
4.5.5 Menentukan Spesifikasi Shell and Tube .....	35
4.5.6 Menentukan Jumlah Tube yang Digunakan.....	35
4.5.7 Koreksi Harga A dan $U_d$ .....	36
4.5.8 Menghitung Suhu Kalorik.....	37
4.5.9 Menentukan $h_i$ , $h_o$ dan $h_o$ .....	37
4.5.10 Menghitung $U_c$ .....	39
4.5.11 Menghitung Dirt Factor.....	39
4.5.12 Menghitung Pressure Drop.....	39
4.6 Menentukan tipe cooler .....	41
4.7 Menentukan bahan konstruksi cooler.....	41
4.8 Menentukan dimensi alat .....	41
4.8.1 Cold fluid.....	42
4.8.2 Hot fluid .....	42
4.8.3 Menghitung $\Delta_{LMTD}$ .....	43
4.8.4 Menentukan koefisien perpindahan panas menyeluruh.....	43
4.8.5 Menghitung luas permukaan .....	43
4.9 Menentukan spesifikasi tube .....	44
4.9.1 Menghitung jumlah tube .....	44
4.10 Koreksi $U_D$ .....	45
4.11 Menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh bersih ....	47
4.12 Menentukan factor pengotoran.....	47
<b>BAB V PENUTUP</b>	
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	51

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Shell and Tube Heat Exchanger .....	11
Gambar 2.2 Tipe Aliran Counter Current Flow .....	13
Gambar 2.3 Tipe Aliran Parallel Flow .....	13
Gambar 2.4 Tipe Aliran Cross Flow .....	14
Gambar 2.5 Jenis Tube Pitch .....	16
Gambar 2.6 Tube Sheet .....	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penentuan Pproperti Fluida.....	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Penentuan Dimensi Alat .....	23

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Komposisi Umpan Heater .....	24
Tabel 4.2 Data Viskositas Ssteam .....	27
Tabel 4.3 Data Viskositas Masing-Masing Komponen .....	28
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Vviskositas Masing-Masing Komponen .....	28
Tabel 4.5 Data Konduktivitas Steam .....	29
Tabel 4.6 Data Konduktivitas Masing-Masing Komponen .....	29
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Konduktivitas Panas Komponen .....	30
Tabel 4.8 Data Kapasitas Panas Steam .....	30
Tabel 4.9 Data Kapasitas Panas Masing-Masing Komponen .....	31
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Kapasitas Panas Masing-Masing Komponen...	31
Tabel 4.11 Data Densitas Steam .....	32
Tabel 4.12 Data Densitas Masing-Masing Komponen .....	32
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Densitas Masing-Masing Komponen .....	33
Tabel 5.1 Spesifikasi Heater jenis Shell and Tube Heat Exchanger .....	49

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. LATAR BELAKANG

Kemajuan teknologi dalam perkembangan dunia industri saat ini sangatlah pesat. Seiring dengan kemajuan zaman, pengembangan di segala bidang harus semakin diperhatikan, salah satu cara agar taraf hidup bangsa dapat ditingkatkan adalah dengan pembangunan industri. Industri kimia merupakan salah satu industri vital dan strategis, untuk itu hampir setiap negara di dunia, tak terkecuali Indonesia banyak memberikan perhatian pada pengembangan industri kimia. Ketergantungan bahan baku impor yang tinggi menyebabkan industri nasional rentan terhadap gejolak kurs (Kementerian Perindustrian, 2018).

Salah satu bahan baku kimia yang diimpor adalah *ethanolamine*. *Ethanolamine* didapatkan dari reaksi antara etilen oksida dan ammonia yang membentuk produk terdiri dari *monoethanolamine*, *diethanolamine* dan *triethanolamine* (Marvin *et al*, 2016). Pada pembuatan *ethanolamine* dapat dilakukan melalui dua proses, yaitu dengan mereaksikan antara etilen oksida dengan ammonia *anhydrous* atau etilen oksida dengan ammonia *aqueous* (Garg *et al*, 2004). Pembuatan *ethanolamine* dapat dilakukan dengan dua proses, yaitu dengan mereaksikan antara etilen oksida dengan ammonia *anhydrous* atau etilen oksida dengan ammonia *aqueous* (Garg *et al*, 2004). Dengan mereaksikan etilen oksida dengan ammonia *aqueous* lebih dipilih karena

membutuhkan suhu dan tekanan yang lebih rendah untuk mempertahankan agar reaktan tetap dalam fase cair jika dibandingkan dengan menggunakan ammonia *anhydrous* (Ruehl, 1997). Pendirian pabrik *ethanolamine* memiliki beberapa alasan yaitu untuk mengurangi impor, menambah devisa negara dengan melakukan ekspor, mendorong industri lain memanfaatkan *ethanolamine*, selain itu juga dapat meningkatkan pengembangan sumberdaya manusia

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material (Holman, 1988). Mekanisme perpindahan panas ada 3 jenis yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi. *Heat Exchanger* adalah suatu peralatan yang digunakan untuk mentransfer panas dari air proses pada suatu industri ke air pendingin melalui dinding-dinding *heat exchanger* secara konveksi (Kern, 1950). Salah satu jenis dari *Heat Exchanger* ini adalah *Shell dan Tube Heat Exchanger*.

Proses desain *Shell dan Tube Heat Exchanger* sangat diperlukan untuk mengetahui faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi ukuran dari *Shell dan Tube Heat Exchanger* tersebut. *Shell and Tube Heat Exchanger* biasanya dirancang berdasarkan tipenya seperti *fixed tube sheet*, *outside packed head*, atau berdasarkan fungsinya seperti *chiller*, *condenser*, *cooler* dan *heater*. Pada perancangan *Shell and Tube Heat Exchanger* di pabrik *ethanolamine* yang digunakan yaitu *Heater*, dimana alat ini berfungsi untuk memanaskan bahan baku amonia dan etilen oksida sebelum masuk reaktor menggunakan pemanas jenis *steam* dengan jenis *Shell and Tube Heat Exchanger*.

## 1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan didapat beberapa permasalahan yang mempengaruhi pendirian pabrik *ethanolamine* :

1. *Ethanolamine* merupakan salah satu bahan kimia yang penggunaannya banyak di Industri namun Indonesia belum ada yang memproduksi *ethanolamine*.
2. *Heat Exchanger* merupakan alat penukar panas yang memiliki efisiensi tinggi dan perawatannya mudah untuk digunakan.

## 1.3 Pembatasan Masalah

Dalam hal ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar permasalahan tidak meluas dan dapat dibahas secara mendalam pada penelitian ini meliputi:

1. Jenis *Heat Exchanger* yang biasa digunakan pada Industri Kimia adalah *Heater dan Cooler* dengan jenis *Shell and Tube*.
2. Produk yang dihasilkan pada *Plant Design* berupa bahan kimia *ethanolamine* yang terdiri dari *monethanolamine, diethanolamine* dan *triethanolamine*.

## 1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan pembatasan masalah yang telah diuraikan maka dapat dikemukakan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana penentuan bahan konstruksi *heat exchanger* pada dengan pemanas steam?
2. Bagaimana proses perancangan *Heat Exchanger* dengan jenis *Shell and Tube*?
3. Bagaimana spesifikasi produk yang dihasilkan dari *plant design ethanolamine*?

### **1.5 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari perancangan pabrik ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat mengetahui penentuan bahan konstruksi *heat exchanger* pada dengan pemanas steam
2. Dapat mengetahui proses perancangan *Heat Exchanger* dengan jenis *Shell and Tube*.
3. Dapat mengetahui spesifikasi produk yang dihasilkan dari *plant design ethanolamine*.

### **1.6 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat seperti :

1. Memberi kontribusi dan wawasan di bidang industri kimia untuk mengurangi impor produk *ethanolamine*.
2. Mendorong industri lain untuk memanfaatkan produk *ethanolamine*.
3. Memberikan informasi mengenai penggunaan *Heater*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### **2.1 Ethanolamine**

*Ethanolamine* adalah senyawa yang termasuk dalam kelas bahan kimia organik dengan rumus molekul  $C_2H_7NO$ , *ethanolamine* memiliki bau yang khas mirip dengan ammonia dan asam amino ini juga sering ditemukan dalam membrane biologis (Gad, 2014). *Ethanolamine* merupakan senyawa yang sering digunakan dalam pembuatan kosmetik, farmasi, dan insektisida (Diguillo, 1992).

*Ethanolamine* dibuat dengan mereaksikan antara etilen oksida dan ammonia sehingga akan terbentuk tiga produk yaitu MEA, DEA, dan TEA (Marvin *et al*, 2016). MEA banyak digunakan dalam industri sebagai absorben untuk menghilangkan  $CO_2$  (Davis & Gary, 2009). MEA merupakan cairan yang memiliki titik didih  $171\text{ }^\circ C$ , dan tidak berwarna (Pubchem *Monoethanolamine*, 2018). Produk lain dari *ethanolamine* adalah *diethanolamine*. *Diethanolamine* merupakan salah satu *alkanolamine* yang secara luas digunakan dalam industri kimia, dan untuk produk perawatan diri seperti shampo, kosmetik dan kondisioner rambut (Panchal & Ramtej, 2013). *Diethanolamine* merupakan *secondary product* dari *ethanolamine* yang memiliki titik leleh  $28\text{ }^\circ C$  dan titik didih  $268,8\text{ }^\circ C$  (Pubchem *Diethanolamine*, 2018). Produk ketiga yang dihasilkan pada *ethanolamine* adalah *triethanolamine* dimana produk ini merupakan produk yang sering digunakan dalam detergen dan kosmetik (Alqaragully *et al*, 2015).

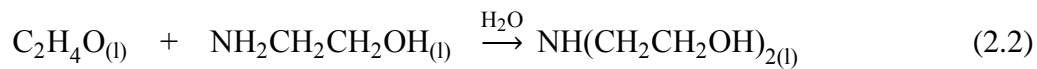


## 2.2 Proses Pembuatan *Ethanolamine*

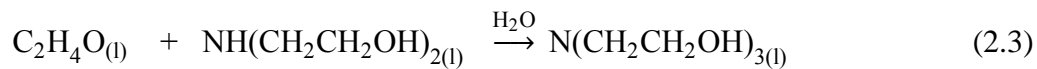
*Ethanolamine* dibuat dengan cara mereaksikan antara etilen oksida dan ammonia. Reaksi antara etilen oksida dan ammonia merupakan seri paralel dan dapat dituliskan sebagai berikut:



Ammonia    Etilen Oksida                      *Monoethanolamine*



Etilen Oksida    *Monoethanolamine*                      *Diethanolamine*



Etilen Oksida    *Diethanolamine*                      *Triethanolamine*

(Sumber: Zahedi *et al*, 2009)

Reaksi diatas merupakan reaksi pembentukan *ethanolamine*, dalam reaksi etilen oksida dan ammonia merupakan reaksi yang bersifat eksotermis (Ullmann's, 2012). Dalam pembuatan *ethanolamine* ada dua jenis proses, yaitu dengan mereaksikan antara etilen oksida dengan ammonia *anhydrous* atau etilen oksida dengan ammonia *aqueous* (Garg *et al*, 2004).

### a) Proses ammonia *aqueous*

*Ethanolamine* dengan menggunakan ammonia *aqueous* dibuat dengan mereaksikan antara larutan ammonia *aqueous* dengan etilen oksida cair. Dalam reaksi

ini produk utama yang dihasilkan adalah *monoethanolamine*, *diethanolamine* dan *triethanolamine* dengan jumlah yang dihasilkan bervariasi tergantung dari rasio  $\text{NH}_3$  dan  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$  yang digunakan (Ullmann's, 2012). Reaksi pembuatan *ethanolamine* dilakukan dengan suhu 40-75 °C dengan tekanan 10 - 20 atm. Konversi etilen oksida mendekati sempurna (~99,9 %) (Marvin *et al*, 2016).

b) Proses ammonia *anhydrous*

Pembuatan *ethanolamine* dapat menggunakan beberapa katalis yaitu silika-alumina, zeolit, *acid clays*, atau logam oksida asam yang lain (Johnson & Austin, 1984). Sedangkan bahan baku yang digunakan adalah ammonia *anhydrous* (99-99,5%) dan etilen oksida pada fase cair. Reaksi harus menggunakan katalis dan dijalankan pada tekanan tinggi, sama dengan tekanan uap ammonia pada suhu tertinggi sehingga reaktan akan tetap pada fase cair selama reaksi berlangsung. Reaksi pembuatan *ethanolamine* menggunakan tekanan yang berkisar antara pada 68-170 atm dengan suhu 150-225 °C. Perbandingan antara  $\text{NH}_3$  dan  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$  yang digunakan paling sedikit adalah 3:1 (MacKenzie *et al*, 1958).

Produksi *ethanolamine* dilakukan dengan *tubular reactor* yang didalamnya direaksikan antara etilen oksida cair, ammonia *aqueous*, dan air sehingga akan dihasilkan produk berupa *monoethanolamine*, *diethanolamine*, dan *triethanolamine*. Konsentrasi ammonia yang digunakan dalam air sebesar 40% berat, dengan tekanan 15 atm, dan temperatur reaksi 75°C. Perbandingan antara ammonia dan etilen oksida yang digunakan yaitu sebesar 10:1 (Marvin *et al*, 2016). Reaksi berlangsung dalam

keadaan eksotermis, entalpi reaksi sekitar 125 kJ/mol etilen oksida (Ullmann's, 2012).

Reaksi antara etilen oksida dan ammonia berlangsung dalam reaktor yang menghasilkan produk berupa *monoethanolamine*, *diethanolamine*, dan *triethanolamine* dengan konversi etilen oksida sebesar 99,99% (mendekati sempurna). Selektivitas dari produk yang dihasilkan yaitu MEA 75% , DEA 21%, TEA 4% dengan perbandingan ammonia dan etilen oksida 10:1 (Reay et al, 2013). Produk keluaran dari reaktor selanjutnya memasuki *ammonia stripper* untuk memisahkan ammonia yang tidak ikut bereaksi. Ammonia akan dipisahkan pada bagian atas sebagai fase uap. Ammonia selanjutnya dialirkan menuju absorber untuk menjerap ammonia yang terlarut dengan menggunakan pelarut air. Ammonia cair akan dialirkan menuju *holding tank*. Produk bawah menara *stripper* yang masih mengandung air selanjutnya dialirkan menuju Menara distilasi I. Dalam Menara distilasi I semua kandungan air dan ammonia sisa *stripper* akan dihilangkan sebagai produk atas. Selanjutnya produk bawah Menara distilasi I dialirkan menuju menara distilasi II. *Monoethanolamine* diambil sebagai produk atas dan campuran antara *diethanolamine* dan *triethanolamine* keluar sebagai produk bawah, yang selanjutnya dialirkan menuju menara distilasi III untuk memisahkan *diethanolamine* dan *triethanolamine*. *Diethanolamine* akan dipisahkan sebagai produk atas menara distilasi dan produk bawah mengandung *triethanolamine* (Alqaragully et al, 2015).

### **2.3. Perpindahan Panas**

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material (Holman, 1988). Panas atau kalor merupakan suatu bentuk energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperature. Panas tersebut akan berpindah dari temperature tinggi ke temperature yang lebih rendah, saat itu akan terjadi perpindahan panas dan akan berhenti ketika sudah memiliki temperature yang sama (Chattopadhyaya, 2007).

Mekanisme perpindahan panas ada 3 jenis yaitu secara konduksi, konveksi dan radiasi. Pada konduksi aliran panas akan mengalir tanpa disertai oleh suatu gerakan zat, seperti pada pemanasan logam yang mengaktifkan gerakan molekul sehingga suhunya berubah menjadi rendah (Mc.Cabe, 1993). Pada konveksi, perpindahan panas diakibatkan oleh gerakan dari zat yang dipanaskan dan hanya terjadi pada permukaan bahan (Kern, 1950). Sedangkan pada Radiasi, panas diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang merambat tanpa melalui ruang media penghantar dan akan diabsorpsi hingga menjadi panas atau kalor (Holman, 1988).

### **2.4. Alat Penukar Panas (*Heat exchanger*)**

Alat Penukar Panas (*Heat exchanger*) adalah peralatan utama untuk perpindahan panas menggunakan fluida panas dan fluida dingin. Penukar panas dirancang supaya dapat melakukan perpindahan panas antar fluida yang berlangsung secara efisien (Syaichurrozi *et al.*, 2014). Aliran dari alat penukar panas dipisahkan menjadi dua dan dioperasikan secara terus-menerus menggunakan *Recuperator*.

Menurut Hausen (1983) *recuperator* digunakan pada sebagai temperatur tinggi pada *preheater* udara. *Heater* yang biasa digunakan adalah jenis *heat exchanger* dengan tipe *shell and tube*. Alat penukar panas (*Heat Exchanger*) secara tipikal diklarifikasikan berdasarkan susunan alirannya (*flow arrangement*) dan tipe konstruksi. Penukar panas yang paling sederhana adalah satu penukar panas yang mana fluida panas dan fluida dingin bergerak pada arah yang sama atau berlawanan dalam sebuah pipa (Linsley, 1972).

## **2.5. Tipe Heat Exchanger**

### *a. Double pipe heat exchanger*

Pada penukar panas dapat menggunakan aliran panas berlawanan atau searah arah aliran, baik dengan fluida panas atau fluida dingin yang terkandung dalam ruang annulus dan cairan lainnya dalam pipa. Alat penukar panas pipa rangkap terdiri dari dua pipa logam standar yang dikedua ujungnya dilas menjadi satu atau dihubungkan dengan kotak penyekat (Kern, 1950). Fluida yang satu mengalir didalam pipa, sedangkan fluida kedua mengalir didalam ruang annulus antara pipa luar dengan pipa dalam. Alat penukar panas jenis ini dapat digunakan pada laju alir fluida yang kecil dan tekanan operasi yang tinggi.

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

Jenis ini merupakan jenis yang paling banyak digunakan dalam industri terutama industri perminyakan. Alat ini terdiri dari sebuah *shell* dimana didalamnya terdapat suatu *bundle* pipa dengan diameter yang relative kecil (Kern,1950). Pada tipe

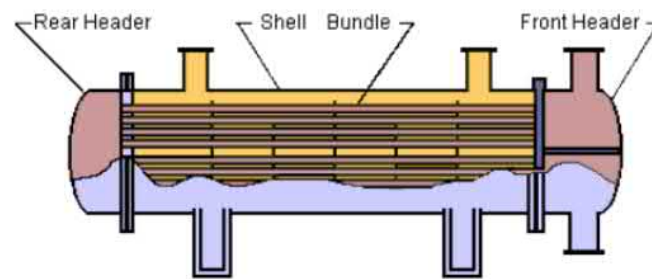
ini satu jenis fluida mengalir didalam pipa-pipa sedangkan fluida yang lain mengalir dibagian luar pipa atau didalam shell pada arah yang sama, berlawanan atau bersilangan. *Shell and Tube Heat Exchanger* terdiri atas satu pipa yang dihubungkan secara *parallel* dan ditempatkan dalam sebuah *shell*. Untuk meningkatkan efisiensi pertukaran panas, biasanya pada alat penukar *shell and tube heat exchanger* dipasang sekat (*baffle*) supaya turbulensi aliran fluida dapat menambah waktu tinggalnya.

#### *c. Plate and Frame Heat Exchanger*

Alat penukar panas jenis ini terdiri dari plat-plat tegak lurus atau bergelombang. Pemisah antara plat dipasang oleh suatu perangkat penekan yang terdapat pada lubang fluidanya (Kern, 1950). Fluida masuk melalui dua lubang, fluida yang satu dialirkan masuk dan yang lainnya dialirkan keluar.

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

*Shell and tube heat exchanger* dibuat dengan beberapa *tube* dalam bentuk *parallel* atau seri dimana satu fluida mengalir dan tertutup dalam *shell* sedangkan fluida yang lain dialirkan (Kern, 1950). Pipa – pipa *tube* didesain berada didalam sebuah ruang berbentuk silinder yang disebut dengan *shell*. Pinggiran *shell* dipasang *baffle* untuk menaikkan kecepatan dan efisiensi aliran lebih besar pada bagian luar *tube*. Bagian *tube* lebih baik untuk fluida yang tekanan dan temperature yang lebih tinggi atau fluida yang lebih korosif.



Gambar. 2.1 *Shell and Tube Heat Exchanger*

### 2.7. Prinsip Kerja *Shell and Tube Heat Exchanger*

Prinsip kerja *shell and tube heat exchanger* yaitu dengan memindahkan panas dari fluida pada temperature berbeda dimana transfer panas dapat dilakukan secara langsung dan tidak langsung (Ikhsan, 2012).

#### a. Kontak secara langsung

Panas yang dipindahkan antara fluida panas dan dingin melalui permukaan kontak langsung berarti tidak ada dinding antara kedua fluida. Transfer panas yang terjadi yaitu melalui interfase/penghubung antara kedua fluida.

#### b. Kontak secara tak langsung

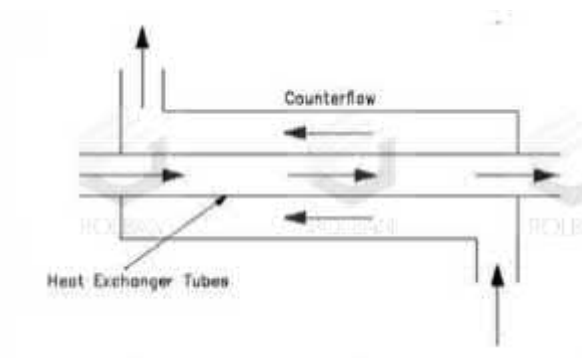
Perpindahan panas terjadi antara fluida panas dan dingin melalui dinding pemisah, lalu fluida akan mengalir dengan sendiri.

### 2.8. Tipe Aliran dalam *Shell and Tube Heat Exchanger*

Menurut ZA, Tendra (2011) dalam heat exchanger terdapat empat tipe aliran yaitu :

#### a. *Counter current flow* (berlawanan arah)

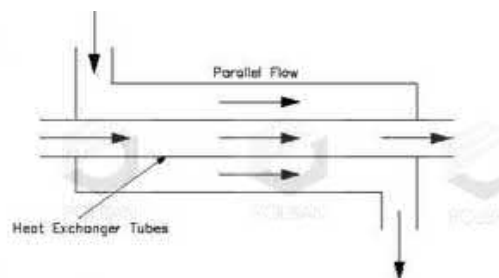
*Counter current flow* atau *counter flow* adalah aliran berlawanan arah, dimana fluida yang satu masuk pada satu ujung penukar kalor, sedangkan fluida yang lain masuk pada ujung penukar panas yang lain (Kern, 1950). Pada tipe ini panas yang diberikan lebih baik dibandingkan dengan aliran yang searah atau *parallel*. Sedangkan, banyaknya pass (lintasan) berpengaruh terhadap efektifitas dari alat penukar panas yang digunakan.



Gambar. 2.2 Tipe Aliran *Counter Current Flow*

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

*Parallel Flow/co-current* adalah aliran searah, dimana kedua aliran masuk pada ujung penukar panas yang sama dan kedua fluida mengalir searah menuju ujung penukar panas yang lain (Kern, 1950).

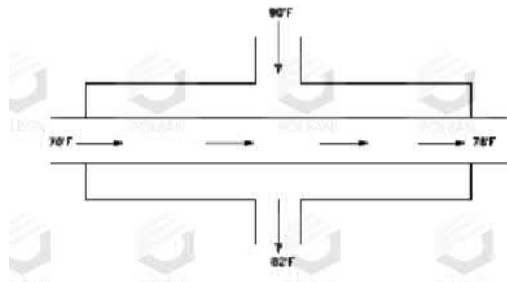


Gambar. 2.3 Tipe Aliran *Parallel Flow*



c. *Cross Flow* (silang)

*Cross Flow* atau sering disebut dengan aliran silang adalah apabila fluida-fluida yang mengalir sepanjang permukaan bergerak dalam arah saling tegak lurus (Kern, 1950).



Gambar. 2.4 Tipe Aliran *Cross Flow*

## 2.9 Komponen Penyusun *Shell and Tube Heat Exchanger*

Tipe *heat exchanger* yang paling umum digunakan dalam industri adalah tipe *shell and tube*. *Heat exchanger* tipe *shell and tube* terdiri dari kumpulan *tube* didalan suatu *shell*. Komponen penyusun *heat exchanger* jenis *shell and tube* adalah :

a. *Shell*

*Shell* merupakan badan dari *heat exchanger*, dimana terdapat *tube bundle*. Pada *exchanger* jenis *shell and tube* terdapat fluida yang menerima atau melepaskan panas, yang dimaksud dengan lintasan yang dilakukan oleh fluida yang mengalir ke dalam melalui saluran masuk (*input nozzle*) melewati bagian dalam *shell* dan mengelilingi *tube* kemudia keluar melalui saluran keluar (*oulet nozzle*). Untuk temperature yang sangat tinggi

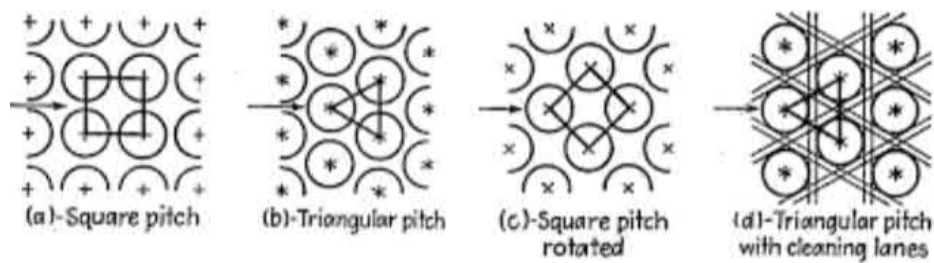
terkadang *shell* dibagi menjadi dua dan disambungkan dengan sambungan ekspansi. Biasanya *shell* berbentuk memanjang (silinder) yang berisi *tube bundle* sekaligus sebagai wadah untuk mengalirkan zat atau fluida. Ketebalan *shell* pada bahan yang mudah korosif sering diberi kelebihan 1/8 in.

b. *Tube*

*Tube* adalah bidang pemisah antara kedua jenis fluida yang mengalir didalamnya dan sekaligus sebagai bidang perpindahan panas. Diameter dalam *tube* merupakan diameter dalam *actual* pada ukuran inch dengan toleransi yang cepat. *Tube* dapat diubah dari berbagai jenis logam, seperti besi, tembaga, perunggu, aluminium dan *stainless steel*. Ukuran ketebalan pipa berbeda-beda dan dinyatakan dalam bilangan Birmingham Wire Gage (BWG) dan yang biasa digunakan mengikuti ukuran-ukuran yang terlalu baku. Semakin besar bilangan BWG maka akan semakin tipis *tubenya* (Za, Tendra., 2011).

Lubang-lubang pada pipa penampang shell dan tube tidak disusun secara begitu saja namun mengikuti aturan tertentu. Jumlah pipa dan ukurannya harus disesuaikan dengan ukuran shell seperti bentuk persegi atau segitiga. Bentuk susunan lubang-lubang pipa secara persegi dan segitiga ini disebut sebagai *tube pitch*. *Pitch* adalah jarak dari pusat atau *corner line tube* yang satu ke pusat *tube* yang lain. Jenis-jenis *tube pitch* yang utama adalah :

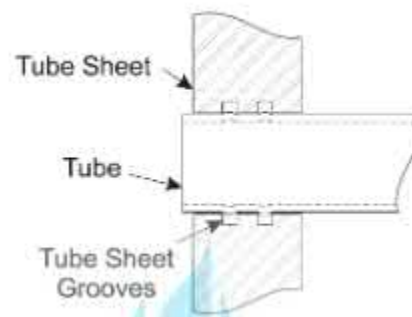
- Square pitch.
- Triangular pitch
- Square pitch rotated
- Triangular with cleaning lanes



Gambar. 2.5 Jenis *Tube Pitch*

c. *Tube Sheet*

Komponen ini berupa alat plat yang dipasang di dalam *tube* untuk membagi aliran fluida *tube* bila diinginkan jumlah *tube pass* lebih dari satu. Konstruksi *tube sheet* biasanya dibuat tebal, dan tube terpasang tanpa bocor pada *tube sheet* (Savasadiya, 2015)



Gambar. 2.6. *Tube Sheet*

d. *Baffle*

*Baffle* digunakan untuk mengatur aliran lewat *shell* sehingga turbulensi yang lebih tinggi akan diperoleh dan memperbesar perpindahan panas yang terjadi (Holman, 1988). *Baffle* didalam *shell* menyebabkan arah aliran fluida dalam *shell* akan memotong kumpulan *tube* secara tegak lurus, sehingga memungkinkan pengaturan arah aliran dalam shell makan dapat meningkatkan kecepatan linearnya dan meningkatkan harga koefisien perpindahan panas lapisan fluida di sisi shell.

*Baffle* juga berfungsi untuk menahan *tube bundle* untuk menahan getaran pada tube dan menjaga jarak antara masing-masing tube, serta menahan turbulensi yang yang ditimbulkan oleh tekana fluida (Setiawan, 2011).

e. *Tie rod*

*Tie rod* digunakan untuk pengikat sistem *baffles* menjadi satu dan tetap pada posisinya (Setiawan, 2011). Secara umum, *tie rod* dapat mempertahankan jarak antara *tubesheet* dan *baffles* serta sambungan *tube*.

## 2.10. Pemilihan Fluida yang Dilewatkan *Shell and Tube*

Menurut Kreith (1973), faktor-faktor yang mempengaruhi pemilihan fluida dalam *shell and tube* antara lain:

- a. Kemampuan untuk dibersihkan

Jika dibandingkan cara membersihkan tube dan shell, maka pembersihan *shell* jauh lebih sulit. Maka, untuk fluida yang bersih biasanya dialirkan pada bagian *shell* dan fluida yang kotor melalui *tube* supaya mudah dibersihkan.

b. Korosif

Korosi merupakan masalah yang sangat dipengaruhi oleh penggunaan dari paduan logam. Paduan logam tersebut harganya mahal, oleh karena itu fluida yang korosif dialirkan melalui *tube* untuk menghemat biaya yang terjadi akibat kerusakan *shell*.

c. Tekanan

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

d. Suhu

Fluida dengan suhu yang 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*. Jika fluida dengan temperature lebih tinggi dilewatkan pada *shell*, maka transfer panas tidak hanya dilakukan ke arah *tube*, tetapi kemungkinan akan terjadi di luar *shell* (lingkungan).

e. Kuantitas

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

f. *Sediment/Fouling*

Fluida yang mengandung sediment atau yang dapat menyebabkan *fouling* sebaiknya dialirkan di *tube*, sehingga *tube-tube* dengan mudah dibersihkan. Jika fluida yang mengandung sediment dialirkan pada *shell*, maka *sediment/fouling* tersebut akan terakumulasi pada *stagnant zone* di sekitar *baffle*.

g. Viskositas

Fluida dengan viskositas rendah (*low transfer rate*) dilewatkan melalui *shell* karena dapat menggunakan *baffles*.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

1. Bahan konstruksi yang digunakan dalam *heat exchanger* dengan pemanas steam yaitu dengan bahan *Stainless Steel SA-240 type 304*.
2. Hasil perancangan heat exchanger jenis shell and tube mendapatkan nilai koefisien  $U_c$  339,8733 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.F,  $U_d$  146,6917 Btu/jam.ft<sup>2</sup>.F dan  $R_d$  sebesar 0,0038 ft<sup>2</sup>.jam.F/Btu dengan jumlah tube 166.
3. Spesifikasi produk *ethanolamine* yang dihasilkan yaitu ada tiga produk pada *plant design* ini yaitu *monoethanolamine*, *diethanolamine* dan *triethanolamine*.

## 5.2. Saran

1. Tipe *heat exchanger* yang digunakan sebaiknya disesuaikan dengan proses dan fluida yang digunakan seta disesuaikan dengan sifat-sifat fluidanya.
2. Untuk menghindari terjadinya korosi, maka jangan menggunakan *alloy* pada *tube*, tapi gunakanlah bimetal atau *stainless steel*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alqaragully, Mohammed B, Hazim Y Al-Gubury, Aseel M Aljeboree, Fiaq F Karam, and Ayad F Alkaim. 2015. *Monoethanolamine: Production Plant*. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences
- Bac, S., dan Avci, A. K. 2018. *Ethylene oxide synthesis in a wall-coated microchannel reactor with integrated cooling*. Chemical Engineering Journal.
- Brownell, Lloyd E, Young, Edwin H. 1959. *Process Equipment Design: Process Vessel Design*. John Wiley & Sons, Inc. New York
- Chattopadhyay, P. .2007. Absorption & Stripping, Asian Books Pvt, New Delhi.
- Davis, Jason, dan Gary Rochelle. 2009. *Thermal Degradation of Monoethanolamine at Stripper Conditions*. Elsevier: Energy Procedia 1(2009) 327-333.
- Diguillo, Ralph M, Rong-Jwyn Lee, Steven T. Schaeffer, Laura L, Brasher, and Aryn S. Teja. 1992. *Densities and Viscosities of the Ethanolamines*. Atlanta: School of Chemical Engineering.
- Ethanolamines.<https://www.icis.com/explore/resources/news/2007/05/18/4502605/ethanolamines/>. Diakses pada tanggal 17 Oktober 2018
- Fassler, Peter and Aureo Celeghin. 2008. *Cost-efficient production of ethanolamines*. Sulzer Technical Review 3.
- Gad, SC. 2014. *Ethanolamine*. Elsevier Inc.
- Garg, Diwakar, Shashank Navin Shah, Matthew Joseph Okasinski, Ava S, and Drayton-Elder. 2004. *US 2004/0068143 A1 Process for Producing Alkanolamines*. Hamilton Boulevard Allentown.
- Geankoplis, Christine J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations, 3<sup>rd</sup> ed.* Prentice-Hall International, Inc. USA.
- Hausen. 1983. Calculation of High Temperature Regeneratif Heat Exchanger. Marchwood, Southampton : England
- Holman, J.P., 1988, *Perpindahan Kalor alih bahasa Jasjfi E., edisi ke-6*, Erlangga, Jakarta
- Ikhsan. 2012. *Project of Jilin 60,000t/year Ethanolamine*. www.English.Jl.Gov.Cn.
- Johnson, Fred L, dan Austin. 1984. *Selective Production of Monoalkanolamines from Alkylene Oxides and Ammonia Over Acidic Inorganic Atalysts*. Texaco, Inc: United States Patent.
- Kementerian Perindustrian. 2018. *64% dari Industri Naional Bergantung pada Bahan Baku Impor* <http://www.kemenperin.go.id/artikel/9306/64-dari-Industri-Nasional-Bergantung-pada-Bahan-Baku-Impor>. Diakses pada tanggal 6 Desember 2018.
- Kementerian Perindustrian. 2018. <http://www.kemenperin.go.id/direktori-perusahaan>. Diakses pada tanggal 16 oktober 2018.
- Kemeterian Perindustrian. 2018. <http://www.kemenperin.go.id/kawasan>. Diakses pada tanggal 10 Oktober.

- Kern, Donald Q. 1950. *Process Heat Transfer*. The McGraw-Hill Companies, Inc. Tokyo.
- Kirk-Othmer. 1998. *Encyclopedia of Chemical Technology, vol 1 4<sup>th</sup> ed.* John Wiley & Sons Inc
- Kreith, F. (1973) Principle of Heat Transfer. Terjemahan Prijono A. 1986. Prinsip-prinsip Perpindahan Panas. Edisi ke-3. Erlangga. Jakarta
- Linsley, Ray K. 1972. Teknik Sumber Daya Air Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- Ludwig, Ernest E. 2001. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Vol 2 3<sup>th</sup> ed.* Gulf Publishing Company. Houston.
- MacKenzie, Gordon F, Midland, and Mich. 1958. *Process for The Conversion of Ethanolamine*. The Dow Chemical Company: United States Patent Office.
- Marvin, Katelyn dan Billig Barry Jay. 2014. EP 3089960 B1 Process for Making Ethanolamines. Scientific Design Company, Inc.
- Marvin, Katelyn, Barry Jay Billig. 2016. *US Patent 9,227,912 B2 Process for Making Ethanolamines*. Scientific Design Company.
- Matches. 2019. <https://www.matche.com/equipcost>. Diakses pada tanggal 8 Mei 2019.
- Panchal, Sneha R, dan Ramtej J. Verma. 2013. *Spermatotoxic Effect of Diethanolamine: An in Vitro Study*. Asian Pasific Journal of Reproduction 2013; 2(3):196-200.
- Perry, R.H and Green, D.W. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, 7<sup>th</sup> edition. Mc Graw-Hill Book Co. New York
- Peters, M.S. dan Timmerhaus, K.D. 1998. *Plant and Design Economic for Chemical Engineers*. 4th edition. Tokyo: McGraw Hill Book Company.
- Petronas Chemical Group. 2015. <https://www.icis.com>. Diakses pada tanggal 15 Oktober 2018.
- Product Catalog Philip. 2019. <https://lighting.philips.co.id>. Diakses pada tanggal 21 April 2019.
- Pubchem Ammonia. 2018. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Diakses pada tanggal 1 Januari 2018.
- Pubchem Diethanolamine. 2018. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Diakses pada tanggal 1 Januari 2018.
- Pubchem Ethylene Oxide. 2018. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Diakses pada tanggal 1 Januari 2018.
- Pubchem Monoethanolamine. 2018. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Diakses pada tanggal 1 Januari 2018.
- Pubchem Triethanolamine. 2018. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>. Diakses pada tanggal 1 Januari 2018.
- Pupuk Kaltim. 2017. <https://www.pupukkaltim.com/id/laporan-laporan-tahunan>. Diakses pada tanggal 16 Oktober 2018.
- Reay, David, Colin Ramshaw, and Adam Harvey. 2013. *Process Intensification Second edition Engineering for Efficiency, Sustainability, and Flexibility*. Elsevier Ltd.

- Ruehl, Chris, Connie Hou, Paul Lee, and Lincoln Armstrong. 1997. *Design of a System of Ethanolamine Reactors*. Course Project CENG 403, Rice University, Houston, Texas.
- Russell A. Ogle, and Andrew R. Carpenter. 2014. *Calculating the Capacity of Chemical Plants*. American Institute of Chemical Engineers (AIChE).
- Setiawan, I. 2011. Mempertahankan Kinerja Alat Penukar Kalor dengan Memodifikasi Sistem Kerja Feeded Pump. Teknik Mesin. Universitas Indonesia : Jakarta
- Silla, Harry. 2003. *Chemical Process Engineering: Design and Economics*. Marcell Dekker, Inc. New York
- Sinnot, R.K. 2005. *Coulson and Richardson's: Chemical Engineering Design, Vol 6 4<sup>th</sup> ed.* Elsevier Ltd. Oxford.
- Smith, J.M., Van Nes, H.C., dan Abbott, M.M. 2001. Introduction to Chemical Engineering Thermodynamic, 5<sup>th</sup> edition. Mc. Graw Hill Book Student International Edition. Tokyo.
- Syaichurrozi, I., et al. 2014. Study of Plate and Frame Heat Exchanger Performance : The Effects of Mass Flow Rate, Inlet Temperature and Type of Flow Againsts The Overall Heat Transfer Coefficient. *Eksergi*, Vol XI, No. 02. 2014
- Ullmann's. 2012. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Germany : VCH Verlagsgesell Scahf, Wanheim.
- Ulrich, G. D. 1978. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economic*.
- Walas, Stanley M. 1990. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. Butterworth-Heinemann. Washington.
- Wang, Yuegu, Songsheng Zheng, Jing Chen, Zhaolin Wang, and Song He. 2018. *Ammonia (NH<sub>3</sub>) Storage for Massive PV Electricity*. Energy Procedia 150(2018)99-105.
- White, Frank M. 2009. *Fluid Mechanics, 4<sup>th</sup> ed.* The McGraw-Hill Companies, Inc. New York.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*, p. 1-29, 185-211, 288-313, McGraw Hill Company, Inc., New York
- Zahedi, Gholamreza, Saeideh Amraei, and Mazda Biglari. 2009. *Simulation and Optimization of Ethanol Amine Production Plant*. Korean J. Chem. Eng., 26(6), 1504-1511(2009).
- ZA, Tendra, et al., 2011. *Pengantar Operasi stage Seimbang*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.