

**PRA RANCANGAN  
PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DARI GLISEROL  
DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 70.000 TON/TAHUN**



**SKRIPSI**

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti  
Ujian Sarjana pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik  
Universitas Sriwijaya**

**OLEH :**

**MARTA SRI AYUNI SINAGA      03031181419011**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2018**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PRA RENCANA  
PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DARI GLISEROL  
DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 70.000 TON/TAHUN**

**SKRIPSI**

diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana

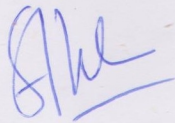
Oleh:

Marta Sri Ayuni Sinaga

03031181419011


Palembang, Agustus 2018

Pembimbing



Ir. Hj. Siti Miskah, M.T.  
NIP. 195602241984032002

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Kimia



Dr. Ir. H. Syaiful, DEA  
NIP. 195810031986031003

## LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

**Marta Sri Ayuni**

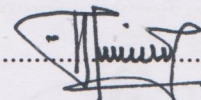
**03031181419011**


Judul :

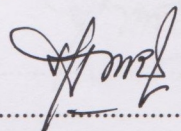
**“PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DARI  
GLISEROL DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 70.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut diatas telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2018 oleh Dosen Penguji :

1. Novia, ST. MT.Ph.D  
NIP. 197311052000032003
2. Dr. David Bahrin, ST. MT. Ph.D  
NIP. 198010312005011003
3. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA  
NIP. 196010111985032002


()  
26/07/2018

()  
22/7 2018

()

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
**Dr. Ir. H. Syaiful, DEA**

NIP. 195810031986031003

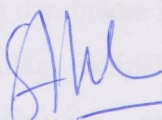
## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Nitrobenzena Kapasitas 93.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan Janu Hadi di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Juli 2018.

Palembang, Juli 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. Hj. Siti Miskah, M.T.

(  
.....)

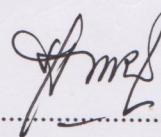
NIP. 195602241984032002

2. Dr. David Bahrin, ST. MT. Ph.D

( 22/2018  
.....)

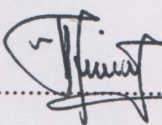
NIP. 198010312005011003

3. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA

(  
.....)

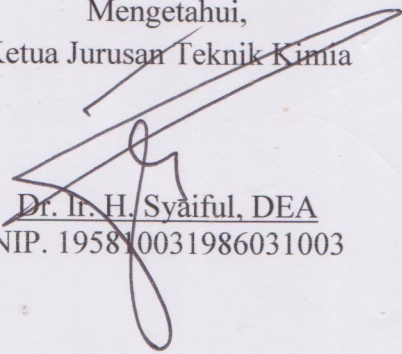
NIP. 196010111985032002

4. Novia, ST. MT.Ph.D

( 26/07/2018  
.....)

NIP. 197311052000032003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
Dr. Ir. H. Syaiful, DEA  
NIP. 195810031986031003

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Marta Sri Ayuni Sinaga  
NIM : 03031181419011  
Judul Tugas Akhir : Pra rencana Pabrik Pembuatan Asam Akrilat dari Gliserol dengan Kapasitas Produksi 70.000 ton per tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Desy Crisna Talera Ginting** didampingi Pembimbing dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Palembang, Agustus 2018



Marta Sri Ayuni Sinaga

NIM. 03031181419011



## KATA PENGANTAR

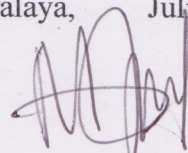
Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha esa, atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Asam Akrilat dari Gliserol Kapasitas Produksi 70.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung, mendoakan, dan memberikan bantuan selama pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

1. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan baik secara materil maupun moril.
2. Ibu Ir. Hj. Siti Miskah, M.T., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
3. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, bantuan, saran-saran, dan motivasi.
4. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah berkontribusi hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Inderalaya, Juli 2018



Penulis

## RINGKASAN

### PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DARI GLISEROL DENGAN KAPASITAS PRODUKSI 70.000 TON/ TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Juli 2018  
Marta Sri Ayuni Sinaga; Dibimbing oleh Ir. Hj. Siti Miskah M.T.  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

#### RINGKASAN

Pabrik pembuatan asam akrilat 70.000 ton/tahun rencana didirikan pada tahun 2021 berlokasi di Kawasan Industri Lubuk Gaung dengan luas area 3 Ha. Proses pembuatan asam akrilat menggunakan proses dehidrasi gliserol dan oksidasi akrolein dan terbagi menjadi 2 tahap. Untuk membangun dan mengoperasikan pabrik asam akrilat akan didirikan perusahaan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang akan dipimpin oleh Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan adalah *line and staf* dengan total karyawan 105 orang. Pabrik pembuatan asam akrilat layak didirikan karena telah memenuhi persyaratan parameter analisa ekonomi sebagai berikut:

- |  |                       |
|--|-----------------------|
| a) <i>Annual Cash Flow</i>             | = US\$ 161,173,511.78 |
| b) <i>Selling Price</i>                | = US\$ 339,500,000.00 |
| c) <i>Total Capital Investment</i>     | = US\$ 429,423,383.76 |
| d) <i>Total Production Cost</i>        | = US\$ 145,981,670.82 |
| e) <i>Pay Out Time</i>                 | = 2 tahun             |
| f) <i>Rate of Return On Investment</i> | = 36,41%              |
| g) <i>Discounted Cash Flow</i>         | = 37,81%              |
| h) <i>Break Event Point</i>            | = 29,14%              |
| i) <i>Service Life</i>                 | = 11 tahun            |

**Kata kunci :** pabrik, asam akrilat, proses dehidrasi, proses oksidasi, analisa ekonomi

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari dukungan dari berbagai pihak. Penulis secara khusus mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Penulis banyak menerima bimbingan, petunjuk, dan bantuan, serta dorongan dari berbagai pihak yang bersifat moral maupun material. Penulis mengucapkan rasa terima kasih kepada :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan kekuatan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua kami tercinta yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. H. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
5. Ir. Hj. Siti Miskah, M.T. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
6. Ibu Ir. Rosdiana Moeksin, M.T., dan Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., selaku koordinator Tugas Akhir.
7. Seluruh Dosen dan Staff Akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Semoga tugas akhir ini turut memberi kontribusi yang bermanfaat bagi semua pihak.

Palembang, Agustus 2018

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>INTISARI</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan .....	2
1.3. Macam Proses Pembuatan .....	2
1.4. Sifat Fisika .....	4
<b>BAB II PERENCANAAN PABRIK</b>	
2.1. Alasan Pendirian Pabrik .....	8
2.2. Pemilihan Kapasitas .....	8
2.3. Pemilihan Bahan Baku .....	9
2.4. Pemilihan Proses .....	9
2.5. Uraian Proses .....	11
<b>BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK</b>	
3.1. Lokasi Pabrik .....	13
3.2. Letak Pabrik .....	16
3.3. Rincian Area Pabrik .....	17
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b>	
4.1. Neraca Massa.....	20
4.2. Neraca Panas .....	24
<b>BAB V UTILITAS</b>	
5.1. Unit Penyediaan Steam.....	31
5.2. Unit Penyediaan Air .....	32

5.3. Unit Penyediaan Refrigeran .....	36
5.4. Unit Penyediaan Tenaga Listrik .....	37
5.5. Unit Penyediaan Bahan Bakar .....	39
<b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>41</b>
<b>BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN</b>	
7.1. Struktur Organisasi.....	70
7.2. Manajemen Perusahaan.....	71
7.3. Kepegawaian .....	71
7.4. Penentuan Jumlah Pekerja .....	73
<b>BAB VIII ANALISA EKONOMI</b>	
8.1. Keuntungan.....	78
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal .....	79
8.3. Total Modal Akhir .....	81
8.4. Laju Pengembalian Modal .....	83
8.5. Break Even Point .....	84
<b>BAB IX KESIMPULAN.....</b>	<b>88</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>89</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>92</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>106</b>

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1. Data Impor Asam Akrilat Negara ASEAN .....	8
Tabel 2.2. Perbandingan Proses Pembuatan Asam Akrilat .....	10
Tabel 7.1. Pembagian Jam Kerja Pekerja Shift .....	73
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan .....	75
Tabel 8.1. Angsuran Pengembalian Modal TCI.....	80
Tabel 8.2. Kesimpulan Analisa Ekonomi .....	86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik .....	14
Gambar 3.2. Lokasi Pabrik berdasarkan Google Maps .....	14
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	77
Gambar 8.1. Break Even Point .....	85

## DAFTAR NOTASI

### 1. ABSORBER

$A$	: Cross sectional area tower, $m^2$
$BM_{avg}$	: BM rata-rata, $kg/kmol$
$C$	: Corrosion maksimum, in
$D$	: Diameter kolom, m
$D_G, D_L$	: Diffusivity gas dan liquid, $m^2/s$
$E$	: Joint efisiensi
$\rho_g, \rho_L$	: Densitas gas dan liquid, $kg/m^3$
$F_g, F_L$	: Koefisien mass transfer gas dan liquid, $kmol/m^2.s$
$G$	: Superficial molar gas mass velocity, $kmol/m^2.s$
$G'$	: Superficial gas mass velocity, $kg/m^2.s$
$H_{tG}$	: Tinggi transfer unit fase gas, m
$H_{tL}$	: Tinggi transfer unit fase liquid, m
$H_{tog}$	: Overall tinggi transfer unit overall fase gas
$L$	: Total laju liquid, $kg/m^2.s$
$L'$	: Superficial liquid mass velocity, $kg/m^2.s$
$m$	: Ratio distribusi kesetimbangan
$P$	: Tekanan desain, psi
$S$	: Working stress allowable, psi
$Sc_g, Sc_l$	: Schmidt number of gas, liquid
$Z$	: Tinggi packing, m
$\mu_g, \mu_L$	: Viskositas gas dan liquid $kg/m.s$
$\epsilon$	: Energy of molecular attraction
$\epsilon_{Lo}$	: Fractional liquid volume, $m^3/m^3$
$\Delta P$	: Perbedaan tekanan, $N/m^2$
$\sigma_L$	: Liquid surface tension, $N/m$
$\phi_{lt}$	: Total hold-up liquid

## 2. ACCUMULATOR

C	: Allowable corrosion, m
D, OD	: Diameter dalam, Diameter luar, m
E	: Efisiensi pengelasan, dimensionless
h	: Panjang ellipsoidal, m
L	: Panjang accumulator, m
$L_t$	: Panjang total accumulator, m
P	: Tekanan operasi, atm
S	: Working stress yang diizinkan, atm
T	: Temperatur operasi, C
t	: Tebal dinding accumulator, m
$V_e$	: Volume ellipsoidal, $m^3$
$V_s$	: Volume silinder, $m^3$
$V_t$	: Volume total, $m^3$
$W_s$	: Laju alir massa, kg/jam
$\rho$	: Densitas, $kg/m^3$

## 3. BLOWER

A	: Inside section area, $ft^2$
$D_{opt}$	: Diameter optimum, in
$D_i$	: Diameter pipa, ft
ID	: Inside diameter, ft
OD	: Outside diameter, ft
P	: Power, Hp
$Q_f$	: Volumetric flowrate, $ft^3/s$
V	: Kecepatan udara, ft/s
W	: Kapasitas, lb/hr

## 4. COOLER, KONDENSOR

A	= Area perpindahan panas, $ft^2$
$a_s, a_t$	= Area pada shell, tube, $ft^2$

$a''$	= external surface per 1 in, $\text{ft}^2/\text{in ft}$
B	= Baffle spacing, in
C	= Clearance antar tube, in
D	= Diameter dalam tube, in
$D_e$	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, $\text{ft}^2/\text{in}^2$
$G_s$	= Laju alir massa fluida pada shell, $\text{lb}/\text{jam.ft}^2$
$G_t$	= Laju alir massa fluida pada tube, $\text{lb}/\text{jam.ft}^2$
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu}/\text{jam.ft}^2.\text{°F}$
$h_i, h_{io}$	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, $\text{Btu}/\text{jam.ft}^2.\text{°F}$
L	= Panjang tube, pipa, ft
LMTD	= Logaritmic Mean Temperature Difference, $\text{°F}$
N	= Jumlah baffle
$N_t$	= Jumlah tube
$P_T$	= Tube pitch, in
$\Delta P_r$	= Return drop sheel, Psi
$\Delta P_s$	= Penurunan tekanan pada shell, Psi
$\Delta P_t$	= Penurunan tekanan tube, Psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
$\Delta P_T$	= Penurunan tekanan total pada tube, Psi
Q	= Beban panas pada heat exchanger, $\text{Btu}/\text{jam}$
$R_d$	= Dirt factor, $\text{Btu}/\text{jam.ft}^2.\text{°F}$
$R_e$	= Bilangan Reynold, dimensionless
s	= Specific gravity
$T_1, T_2$	= Temperatur fluida panas inlet, outlet, $\text{°F}$
$t_1, t_2$	= Temperatur fluida dingin inlet, outlet, $\text{°F}$
$T_c$	= Temperatur rata-rata fluida panas, $\text{°F}$

$t_c$	=	Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
$U_c, U_d$	=	Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$W$	=	Laju alir massa fluida panas, lb/jam
$w$	=	Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
$\mu$	=	Viscositas, cp

## 5. CRYSTALLIZER

$C$	:	Korosi yang diizinkan, dimensionless
$D$	:	Diameter tanki, m
$D_i$	:	Diameter pengaduk, m
$D_p$	:	Beda densitas kg/m <sup>3</sup>
$E$	:	Welded join efficiency, dimensionless
$g$	:	Percepatan gravitasi, ft/s <sup>2</sup>
$h$	:	Tinggi ellipsoidal, m
$H_i$	:	Tinggi pengaduk dari dasar tanki, m
$H_L$	:	Tinggi liquid, m
$H_S$	:	Tinggi silinder yang diisi liquid
$kT$	:	Konstanta pengadukan, dimensionless
$m$	:	Laju alir massa, kg/jam
$m_c$	:	Viskositas kontinyu, Ns/m <sup>2</sup>
$m_d$	:	Viskositas dispersi, Ns/m <sup>2</sup>
$m$	:	Viskositas campuran, kg/m.s
$N$	:	Putaran pengaduk
$N_{Re}$	:	Reynold number, dimensionless
$P$	:	Power pengaduk, HP
$P$	:	Tekanan, atm
$q$	:	Lebar blade, m
$s$	:	Tegangan permukaan, N/m
$S$	:	Tekanan kerja yang diizinkan, atm
$T$	:	Tebal tanki, m
$V$	:	Volumetrik flowrate, m <sup>3</sup> /jam



$V_s$	:	Volume silinder yang di liquid, $m^3$
$W_b$	:	Lebar baffle, m
$\rho$	:	Densitas $lb/ft^3$
$\mu$	:	Viskositas, $cm^2$

## 6. EXPANDER

$T_1$	:	Temperatur Masuk ( $^{\circ}C$ )
$T_2$	:	Temperatur Keluar ( $^{\circ}C$ )
$P_1$	:	Tekanan Masuk (Bar)
$P_2$	:	Tekanan Keluar (Bar)
$W$	:	Laju Alir Masuk (Kg/jam)
$\rho$	:	Densitas gas ( $kg/m^3$ )
$V$	:	Laju alir volumetric ( $m^3/jam$ )
$\eta$	:	Efisiensi ekspander (%)
$Q_k$	:	Beban kompresi (Kj/Jam)
$P_w$	:	Power expander (HP)
$k$	:	Ratio $C_p/C_v$ , tak berdimensi
$N_s$	:	Jumlah stage yang dibutuhkan
$P$	:	Tekanan, atm
$P_w$	:	Power yang dibutuhkan, Hp
$g_v, g_l$	:	Volumetric flowrate gas, liquid, kg/jam
cfm	:	Cubic ft per menit
$R_c$	:	Ratio compressor
$R_{v,l}$	:	Densitas gas, liquid, $kg/m^3$

## 7. FILTER

$A$	:	Filter medium area, $ft^2$
$\Psi$	:	Sphericity, dimensionless
$C_2$	:	Konstanta filtrasi, $lb_f \cdot s/ft^4$
$D_p$	:	Diameter partikel, ft
$F_{Re}$	:	Reynold Number factor, dimensionless

$F_r$	:	Friction factor, dimensionless
$gc$	:	Conversion factor, $ft/lb_f \cdot s^2$
$K$	:	Permeability cake, $(ft^3/sec^2)(lb_m/lb_f)$
$L$	:	Tebal cake, ft
$\Delta P$	:	Pressure Drop, psi
$V$	:	Volume filtrate, $ft^3$
$W$	:	Berat solid, lb
$X$	:	Porosity, dimensionless
$x$	:	Mass fraction solid, dimensionless
$\mu$	:	Viscosity, cP
$\rho$	:	Density, $lb/ft^3$

## 8. FURNACE

$q_n$	:	Neat heat release, Btu/jam
$q_r$	:	Radiant duty, Btu/jam
$t_f, t_t$	:	Temperatur fluida, temperatur dinding, °F
$A_{r,a}$	:	Luas area radiant section, luas tube, $ft^2$
$OD$	:	diameter luar tube, in
$L$	:	panjang tube, ft
$N_t$	:	Jumlah tube
$A_{cp}$	:	cold plane surface, $ft^2$
$V$	:	Volume furnace, $ft^3$
$L_{beam}$	:	Mean beam Length, ft
$E_g$	:	gas emisivitas
$q_s$	:	Heat loss fuel gas, Btu/jam
$h_{cc}$	:	koefisien konveksi, $Btu/jam \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
$h_{cl}$	:	koefisien gas radiant, $Btu/jam \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
$h_{cw}$	:	koefisien wall radiant, $Btu/jam \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$
$A_{cw}$	:	wall area per row, $ft^2$
$f$	:	factor seksi konveksi
$U_c$	:	overall transfer coefisient dalam seksi konveksi, $Btu/jam \cdot ft^2 \cdot ^\circ F$

- $\rho_g$  : densitas fuel gas, lb/ft<sup>3</sup>  
 G : mass velocity pada minimum cross section, lb/s.ft<sup>2</sup>

## 9. HEATER

- A = Area perpindahan panas, ft<sup>2</sup>  
 $a_s, a_t$  = Area pada shell, tube, ft<sup>2</sup>  
 $a''$  = external surface per 1 in, ft<sup>2</sup>/in ft  
 B = Baffle spacing, in  
 C = Clearance antar tube, in  
 D = Diameter dalam tube, in  
 $D_e$  = Diameter ekivalen, in  
 f = Faktor friksi, ft<sup>2</sup>/in<sup>2</sup>  
 $G_s$  = Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft<sup>2</sup>  
 $G_t$  = Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam.ft<sup>2</sup>  
 g = Percepatan gravitasi  
 h = Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F  
 $h_i, h_{io}$  = Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube  
 jH = Faktor perpindahan panas  
 k = Konduktivitas termal, Btu/jam.ft<sup>2</sup>.°F  
 L = Panjang tube, pipa, ft  
 LMTD = Logaritmic Mean Temperature Difference, °F  
 N = Jumlah baffle  
 $N_t$  = Jumlah tube  
 $P_T$  = Tube pitch, in  
 $\Delta P_r$  = Return drop sheel, Psi  
 $\Delta P_s$  = Penurunan tekanan pada shell, Psi  
 $\Delta P_t$  = Penurunan tekanan tube, Psi  
 ID = Inside Diameter, ft  
 OD = Outside Diameter, ft  
 $\Delta P_T$  = Penurunan tekanan total pada tube, Psi  
 Q = Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam

$R_d$	=	Dirt factor, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$R_e$	=	Bilangan Reynold, dimensionless
$s$	=	Specific gravity
$T_1, T_2$	=	Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
$t_1, t_2$	=	Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
$T_c$	=	Temperatur rata-rata fluida panas, °F
$t_c$	=	Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
$U_c, U_d$	=	Clean overall coefficient, design overall coefficient, Btu/jam.ft <sup>2</sup> .°F
$W$	=	Laju alir massa fluida panas, lb/jam
$w$	=	Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
$\mu$	=	Viscositas, cp

## 10. KOLOM DISTILASI

$A_d$	:	Downcomer area, m <sup>2</sup>
$A_t$	:	Tower area, m <sup>2</sup>
$A_n$	:	Net area, m <sup>2</sup>
$A_a$	:	Active area, m <sup>2</sup>
$A_b$	:	Hole area, m <sup>2</sup>
$A_{da}$	:	Aerated area, m <sup>2</sup>
$C$	:	Faktor korosi yang dizinkan, m
$C_{sb}$	:	Kapasitas vapor, m/det
$DI$	:	Clearance, mm
$d_h$	:	Diameter hole, mm
$d_c$	:	Diameter kolom, mm
$e$	:	Total entrainment, kg/det
$E$	:	Joint efficiency, dimensionless
$F$	:	Friction factor, dimensionless
$F_{iv}$	:	Paramater aliran, dimensionless
$h_a$	:	Aerated liquid drop, m
$h_f$	:	Froth height, mm

$h_w$	:	Weir height, mm
$h_\sigma$	:	Weep point, cm
$H$	:	Tinggi kolom, m
$L_w$	:	Weir length
$L$	:	Laju alir massa liquid solvent, kg/det
$N_m$	:	Jumlah tray minimum
$\Delta P$	:	Pressure drop
$P$	:	Tekanan desain, atm
$q$	:	Laju alir volume umpan solvent, m <sup>3</sup> /det
$Q$	:	Laju alir volume umpan gas, m <sup>3</sup> /det
$Q_p$	:	Aeration factor, dimensionless
$R$	:	[L/D] reflux ratio, dimensionless
$R_h$	:	Radius Hydraulic, m
$R_m$	:	Reflux minimum
$Re_h$	:	Reynold modulus, dimensionless
$S$	:	Working stress, N/m <sup>2</sup>
$S_s$	:	Stage umpan
$St$	:	Jumlah stages
$t$	:	Tebal dinding vessel, m
$T$	:	Temperatur operasi, °C
$T_{av}$	:	Temperatur rata-rata, °C
$U_f$	:	Kecepatan aerated mass, $U_f$
$V$	:	Laju alir massa umpan gas, kg/det
$V_d$	:	Downcomer velocity, m/det
$\alpha$	:	Relatif volatil, dimensionless
$\Delta$	:	Liquid gradien, cm
$\rho_g$	:	Densitas gas, kg/m <sup>3</sup>
$\rho_l$	:	Densitas liquid, kg/m <sup>3</sup>
$\psi$	:	Fractional entrainment, dimensionless

## 11. KOMPRESSOR

$k$	= $C_v / C_p$
$n$	= Jumlah Stage
$P_i$	= Tekanan input, atm
$P_o$	= Tekanan output, atm
$P$	= Power kompresor (HP)
$Q$	= Kapasitas kompresor
$T_i$	= Temperatur input, K
$T_o$	= Temperatur output, K
$\eta$	= Efisiensi
$V$	= Volumetrik gas masuk
$\rho$	= Densitas, $\text{kg/m}^3$
$R_c$	= Rasio Kompresi
$W$	= Laju alir massa, lb/jam

## 12. MELTER

$C$	: Korosi yang diizinkan, dimensionless
$D$	: Diameter tanki, m
$D_i$	: Diameter pengaduk, m
$D_p$	: Beda densitas $\text{kg/m}^3$
$E$	: Welded join efficiency, dimensionless
$g$	: Percepatan gravitasi, $\text{ft/s}^2$
$h$	: Tinggi ellipsoidal, m
$H_i$	: Tinggi pengaduk dari dasar tanki, m
$H_L$	: Tinggi liquid, m
$H_S$	: Tinggi silinder yang diisi liquid
$kT$	: Konstanta pengadukan, dimensionless
$m$	: Laju alir massa, kg/jam
$m_c$	: Viskositas kontinyu, $\text{Ns/m}^2$
$m_d$	: Viskositas dispersi, $\text{Ns/m}^2$
$m$	: Viskositas campuran, $\text{kg/m.s}$
$N$	: Putaran pengaduk

$N_{Re}$	:	Reynold number, dimensionless
P	:	Power pengaduk, HP
P	:	Tekanan, atm
q	:	Lebar blade, m
s	:	Tegangan permukaan, N/m
S	:	Tekanan kerja yang diizinkan, atm
T	:	Tebal tanki, m
V	:	Volumetrik flowrate, m <sup>3</sup> /jam
$V_s$	:	Volume silinder yang di liquid, m <sup>3</sup>
$W_b$	:	Lebar baffle, m
$\rho$	:	Densitas lb/ft <sup>3</sup>
$\mu$	:	Viskositas, cm <sup>2</sup>

### 13. POMPA

A	=	Area alir pipa, in <sup>2</sup>
BHP	=	Brake Horse Power, HP
$D_{i\text{opt}}$	=	Diameter optimum pipa, in
E	=	Equivalent roughness
f	=	Faktor friksi
FK	=	Faktor keamanan
$g_c$	=	Percepatan gravitasi, ft/s <sup>2</sup>
Gpm	=	Gallon per menit
$H_{f\text{suc}}$	=	Total friksi pada suction, ft
$H_{f\text{dis}}$	=	Total friksi pada discharge, ft
$H_{fs}$	=	Skin friction loss
$H_{fsuc}$	=	Total suction friction loss
$H_{fc}$	=	Sudden Contraction Friction Loss (ft lb <sub>m</sub> /lb <sub>f</sub> )
$H_{fe}$	=	Sudden expansion friction loss (ft lb <sub>m</sub> /lb <sub>f</sub> )
ID	=	Inside diameter pipa, in
$K_C, K_S$	=	Contraction, expansion loss contraction, ft
L	=	Panjang pipa, ft
$L_e$	=	Panjang ekuivalen pipa, ft

NPSH	= Net positive suction head (ft)
$N_{Re}$	= Reynold number, dimension less
$P_{Vp}$	= Tekanan uap, Psi
$Q_f$	= Laju alir volumeterik
$V_f$	= Kapasitas pompa, lb/jam
$V$	= Kecepatan alir
$\Delta P$	= Beda tekanan, Psi

#### 14. REAKTOR

$BM_{av}$	: BM rata – rata, kg/kmol
$g$	: Percepatan Gravitasi, $m/s^2$
$H_S$	: Tinggi Head Reaktor, m
$H_R$	: Tinggi reaktor total, m
$k$	: Konstanta reaksi , $m^3/kmol.s, s^{-1}$
$M_{fr}$	: Laju alir massa, kg/jam
$Q_f$	: Volumetric Flowrate Umpan, $m^3/h$
$t$	: Tebal dinding reaktor, m
$V_f$	: Total free volume, $m^3$
$V_{HR}$	: Volume head reaktor, m
$V_R$	: Volume Total Reaktor, m
$V_s$	: Volume Shell, $m^3$
$\mu$	: Viskositas Campuran, kg m/s

#### 15. REBOILER

$A$	= Area perpindahan panas, $ft^2$
$a_s, a_t$	= Area pada shell, tube, $ft^2$
$a''$	= external surface per 1 in, $ft^2/in$
$B$	= Baffle spacing, in
$C$	= Clearance antar tube, in
$D$	= Diameter dalam tube, in
$D_e$	= Diameter ekivalen, in



$f$	=	Faktor friksi, $\text{ft}^2/\text{in}^2$
$G_s$	=	Laju alir massa fluida pada shell, $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
$G_t$	=	Laju alir massa fluida pada tube, $\text{lb}/\text{jam}.\text{ft}^2$
$g$	=	Percepatan gravitasi
$h$	=	Koefisien perpindahan panas, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.\text{°F}$
$h_i, h_{i0}$	=	Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
$jH$	=	Faktor perpindahan panas
$k$	=	Konduktivitas termal, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.\text{°F}$
$L$	=	Panjang tube, pipa, ft
LMTD	=	Logaritmic Mean Temperature Difference, $\text{°F}$
$N$	=	Jumlah baffle
$N_t$	=	Jumlah tube
$P_T$	=	Tube pitch, in
$\Delta P_r$	=	Return drop sheel, Psi
$\Delta P_s$	=	Penurunan tekanan pada shell, Psi
$\Delta P_t$	=	Penurunan tekanan tube, Psi
ID	=	Inside Diameter, ft
OD	=	Outside Diameter, ft
$\Delta P_T$	=	Penurunan tekanan total pada tube, Psi
$Q$	=	Beban panas pada heat exchanger, $\text{Btu}/\text{jam}$
$R_d$	=	Dirt factor, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.\text{°F}$
$R_e$	=	Bilangan Reynold, dimensionless
$s$	=	Specific gravity
$T_1, T_2$	=	Temperatur fluida panas inlet, outlet, $\text{°F}$
$t_1, t_2$	=	Temperatur fluida dingin inlet, outlet, $\text{°F}$
$T_c$	=	Temperatur rata-rata fluida panas, $\text{°F}$
$t_c$	=	Temperatur rata-rata fluida dingin, $\text{°F}$
$U_c, U_d$	=	Clean overall coefficient, design overall coefficient, $\text{Btu}/\text{jam}.\text{ft}^2.\text{°F}$
$W$	=	Laju alir massa fluida panas, $\text{lb}/\text{jam}$
$w$	=	Laju alir massa fluida dingin, $\text{lb}/\text{jam}$

$\mu$  = Viscositas, cp

## 16. TANGKI

C = Tebal korosi yang diizinkan  
D = Diameter tangki, m  
E = Efisiensi penyambungan, dimensionless  
h = Tinggi head, m  
H = Tinggi silinder, m  
 $H_T$  = Tinggi total tangki, m  
P = Tekanan Operasi, atm  
S = Working stress yang diizinkan, Psia  
T = Temperatur Operasi, K  
t = Lama persediaan/penyimpanan, hari  
 $V_e$  = Volume ellipsoidal head,  $m^3$   
 $V_s$  = Volume silinder,  $m^3$   
 $V_t$  = Volume tangki,  $m^3$   
W = Laju alir massa, kg/jam  
 $\rho$  = Densitas,  $kg/m^3$

## 17. DIMENSIONLESS NUMBER

$N_p$  : Power Number (-)  
 $N_{Re}$  : Reynold Number (-)  
Pe : Peclet Number (-)  
Sc : Schmidt (-)  
jH : Faktor perpindahan panas  
f : Friction factor

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Neraca Massa .....	106
Lampiran 2. Neraca Panas .....	147

Lampiran 3. Spesifikasi Peralatan .....	225
Lampiran 4. Analisa Ekonomi .....	416

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perkembangan industri sangat berpengaruh terhadap perkembangan ekonomi di Indonesia. Seiring dengan perkembangan industri tersebut terjadi pula peningkatan kebutuhan atau produksi bahan baku dan bahan pendukung. Salah satunya adalah sektor industri kimia yang turut memegang peranan penting dalam memajukan perindustrian di Indonesia. Inovasi proses produksi maupun pembangunan pabrik baru bertujuan untuk mengurangi ketergantungan Indonesia terhadap produk luar negeri dan menambah devisa negara, salah satunya adalah dengan pembangunan pabrik asam akrilat.

Asam akrilat merupakan bentuk sederhana dari asam karboksilat tak jenuh. Asam akrilat memiliki nama IUPAC *propenoic acid* dengan rumus kimia  $\text{CH}_2\text{CHCOOH}$ . Asam akrilat berwujud cair pada suhu kamar, tak berwarna, dan berbau tajam (Linza, 2014). Asam akrilat merupakan bahan kimia yang penting karena merupakan bahan *intermediate* dari banyak senyawa kimia lainnya dan juga karena aplikasinya yang sangat luas. Asam akrilat digunakan untuk ester akrilik, polimer akrilik, serta turunan lainnya. Berdasarkan jenis aplikasinya, asam akrilat merupakan bahan untuk industri pelapis, perekat, bahan aditif plastik, surfaktan, flokulan, tekstil, kosmetik, serta cat. Seiring dengan meningkatnya penggunaan plastik pada saat ini, maka kebutuhan pabrik plastik akan asam akrilat juga akan meningkat karena salah satu manfaat asam akrilat ialah untuk bahan aditif plastik.

Asam akrilat saat ini telah diproduksi secara komersial dan merupakan asam paling penting dalam industri kimia. Pada saat ini sebagian besar kebutuhan asam akrilat di Indonesia didatangkan langsung dari luar negeri, diantaranya dari Cina, Jepang, dan Korea Selatan (Linza, 2014). Semakin meningkatnya perkembangan industri kimia di Indonesia, diperkirakan permintaan asam akrilat sebagai bahan baku, maupun bahan pembantu pada tahun-tahun mendatang juga akan meningkat.

Pendirian pabrik asam akrilat di Indonesia diharapkan dapat memenuhi kebutuhan asam akrilat dalam negeri dan kawasan ASEAN, meningkatkan pemasukan negara dari sektor pajak, menciptakan lapangan pekerjaan, serta mendorong pertumbuhan industri turunan asam akrilat di Indonesia.

## 1.2. Sejarah dan Perkembangan

Asam akrilat diproduksi secara komersil sejak tahun 1920, tetapi produksi secara besar-besaran baru dilakukan pada tahun 1925. Asam akrilat pertama kali diproduksi menggunakan metode *acetylene route*. Penemu dari proses ini adalah Walter Reppe. Penemu mereaksikan nikel karbonil dengan asetilen dan air untuk menghasilkan asam akrilat. Proses Reppe dimodifikasi oleh Rohm dan Haas dari Houston pada tahun 1976 dan menghasilkan proses oksidasi propilen (Linza, 2014). Di Amerika hanya ada 5 perusahaan penghasil asam akrilat, diantaranya:

- 1) Rohm dan Hass. Co  
Perusahaan ini menggunakan proses semi katalitik yang menggunakan alkohol, nikel karbonil, karbon monoksida, dan hidrogen klorida.
- 2) Union Carbide Operate  
Perusahaan ini merupakan perusahaan yang pertama kali menggunakan oksidasi propilen untuk menghasilkan asam akrilat.
- 3) Celanese  
Perusahaan ini mendapat izin dari B. F. Goodrich dan menggunakan proses *propiolactone route*.
- 4) Dow Badische Operate  
Perusahaan ini menggunakan proses Reppe pada tekanan tinggi dengan proses esterifikasi untuk menghasilkan etil, butyl, dan 2-etil heksil ester dan asam akrilat.
- 5) B. F. Goodrich  
Perusahaan ini menggunakan *propiolactone route* untuk menghasilkan asam akrilat.

## 1.3. Proses Pembuatan

Proses pembuatan asam akrilat dapat dilakukan dengan 7 cara (Linza, 2014), yaitu:

1) *Acetylene Route*

Pembuatan asam akrilat secara komersil dilakukan dengan memisahkan nikel klorida dan mengembalikannya ke reaksi sintesa nikel karbonil. Proses ini menghasilkan produk samping yaitu asam propionat yang sangat sulit dipisahkan dari asam akrilat.

Reaksi:



2) *Acrylonitrile Route*

Proses ini adalah proses hidrolisa asam sulfat dan akrilonitril. Akrilonitril direaksikan dengan asam sulfat dan air yang berlebih pada suhu 100°C menghasilkan asam akrilat. Kelemahan proses ini adalah mahalnnya bahan baku yang digunakan.

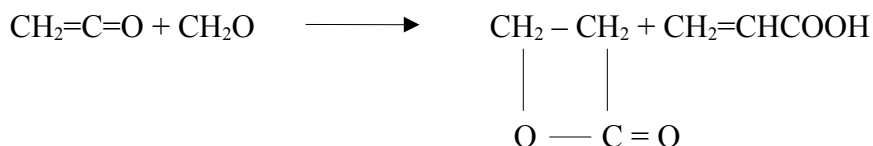
Reaksi:



3) *Ketene Route*

Proses ini menggunakan bahan baku asam asetat atau aseton yang dipirolisis menjadi ketene, kemudian ketene direaksikan dengan formaldehid untuk menghasilkan  $\beta$ -propiolakton. Lakton ini diubah menjadi asam akrilat.

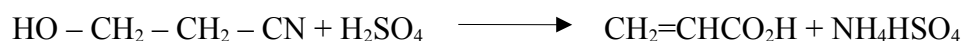
Reaksi:



4) *Ethylene Cyanohidrin Route*

Proses ini adalah proses hidrolisa antara *ethylene cyanohidrin* dan asam sulfat dengan produk samping amonium sulfat dari 85% asam sulfat.

Reaksi:



### 5) *Propylene Oxidation Route*

Proses yang paling ekonomis untuk pembuatan asam akrilat yang didasarkan pada dua tahap, pertama menghasilkan akrolein, kemudian dioksidasi menjadi asam akrilat.

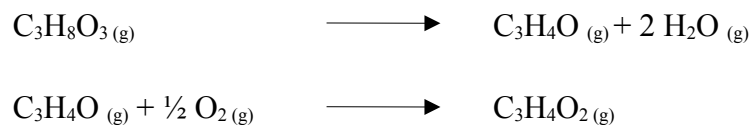
Reaksi:



### 6) *Glycerol Dehydration-Acrolein Oxidation Route*

Proses ini merupakan salah satu proses terbaru yang dikembangkan oleh para ahli, seiring dengan meningkatnya ketersediaan gliserol yang merupakan hasil samping produksi biodiesel. Gliserol didehidrasi menjadi akrolein dengan bantuan katalis, kemudian akrolein dioksidasi dengan bantuan katalis menjadi asam akrilat.

Reaksi:



### 7) *Condensation Acetic Acid and Formaldehyde*

Proses ini merupakan proses yang baru dikembangkan oleh para ahli. Proses ini dilakukan melalui reaksi kondensasi aldol antara asam asetat dan formaldehida dengan dibantu katalis untuk membentuk asam akrilat.

Reaksi:



## 1.4. Sifat Fisika

Sifat fisika bahan baku, katalis, dan produk merupakan salah satu informasi penting dalam desain suatu pabrik. Berdasarkan Yaws 1999, informasi khusus sifat fisika dan kimia untuk pabrik pembuatan asam akrilat menggunakan proses US 9,371,261 B2.

- a) Gliserol
- Rumus molekul :  $C_3H_8O_3$
- Massa molekul : 92,095 gr/mol
- Fase pada suhu kamar : Liquid
- Titik beku :  $17,8^{\circ}C$
- Titik didih :  $289,8^{\circ}C$
- Temperatur kritis : 726 K
- Tekanan kritis : 66,9 bar
- b) Air
- Rumus molekul :  $H_2O$
- Massa molekul : 18,015 gr/mol
- Fase pada suhu kamar : Liquid
- Titik beku :  $0^{\circ}C$
- Titik didih :  $100^{\circ}C$
- Temperatur kritis :  $374,15^{\circ}C$
- Tekanan kritis : 220,5 bar
- c) Akrolein
- Rumus molekul :  $C_3H_4O$
- Massa molekul : 56,064 gr/mol
- Fase pada suhu kamar : Liquid
- Titik beku :  $-87,2^{\circ}C$
- Titik didih :  $52,8^{\circ}C$
- Temperatur kritis : 506 K
- Tekanan kritis : 51,7 bar
- d) Propionaldehida
- Rumus molekul :  $C_3H_6O$
- Massa molekul : 58,08 gr/mol
- Fase pada suhu kamar : Liquid
- Titik beku :  $-80,2^{\circ}C$
- Titik didih :  $47,8^{\circ}C$



- Temperatur kritis : 496 K  
Tekanan kritis : 47,6 bar
- e) Hidroksiaseton  
Rumus molekul :  $C_3H_6O_2$   
Massa molekul : 74,08 gr/mol  
Fase pada suhu kamar : Liquid  
Titik beku :  $-17^\circ C$   
Titik didih :  $145,5^\circ C$   
Temperatur kritis : 596 K  
Tekanan kritis : 57,4 bar
- f) Asetaldehida  
Rumus molekul :  $CH_3COH$   
Massa molekul : 44,053 gr/mol  
Fase pada suhu kamar : Liquid  
Titik beku :  $-123^\circ C$   
Titik didih :  $20,4^\circ C$   
Temperatur kritis :  $187,85^\circ C$   
Tekanan kritis : 55,7 bar
- g) Asam Asetat  
Rumus molekul :  $CH_3COOH$   
Massa molekul : 60,053 gr/mol  
Fase pada suhu kamar : Liquid  
Titik beku :  $16,66^\circ C$   
Titik didih :  $117,9^\circ C$   
Temperatur kritis :  $319,56^\circ C$   
Tekanan kritis : 57,9 bar
- h) Asam Format  
Rumus molekul :  $CH_2O_2$   
Massa molekul : 46,025 gr/mol

Fase pada suhu kamar : Liquid  
Titik beku :  $8,3^{\circ}\text{C}$   
Titik didih :  $100,06^{\circ}\text{C}$   
Temperatur kritis :  $306,85^{\circ}\text{C}$

i) Asam Propionat

Rumus molekul :  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$   
Massa molekul :  $74,08 \text{ gr/mol}$   
Fase pada suhu kamar : Liquid  
Titik beku :  $-20,7^{\circ}\text{C}$   
Titik didih :  $140,8^{\circ}\text{C}$   
Temperatur kritis :  $612 \text{ K}$   
Tekanan kritis :  $53,7 \text{ bar}$

j) Asam Akrilat

Rumus molekul :  $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$   
Massa molekul :  $72,064 \text{ gr/mol}$   
Fase pada suhu kamar : Liquid  
Titik beku :  $11,8^{\circ}\text{C}$   
Titik didih :  $140,8^{\circ}\text{C}$   
Temperatur kritis :  $341,85^{\circ}\text{C}$   
Tekanan kritis :  $56,7 \text{ bar}$

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2012. *Asam Akrilat*. Badan POM RI: Jakarta.
- Anonim. 2012. *WilmarOleochemical*. (online): [http://www.wilmar-international.com/wp-content/uploads/2012/11/Wilmar\\_Oleo\\_Brochure.pdf](http://www.wilmar-international.com/wp-content/uploads/2012/11/Wilmar_Oleo_Brochure.pdf). (Diakses 20 November 2017).
- Anonim. 2015. *Economic Indicators*. (online): <http://www.chemengonline.com/pci>. (Diakses 27 November 2016).
- Anonim. 2015. *Catalyst Molybdenum-Vanadium*. (online): <http://link.springer.com/article/10.1007/bf00765198>. (Diakses 20 November 2017).
- Anonim. 2016. *Acrylic Acid 99,5%*. (online): <http://www.alibaba.com/trade/search?searchtext=acrylic%20acid%2099.5%25min>. (Diakses 29 November 2016).
- Anonim. 2016. *Caltex Marine and Industrial Diesel Fuel*. (online) <http://www.caltex.com/my/business/commercial-and-industrial-products/marine-and-industrial-diesel-fuel.html>.
- Badan Standarisasi Nasional. 2000. *SNI 03-6197-2000: Konversi Energi pada Sistem Pencapaian*.
- Brownell, L.E. and Young, E.H. 1979. *Process Equipment Design*. Wiley Eastern Limited: New York.
- Craig, B. D. dan Anderson, D. B. 1995. *Handbook of Corrosion Data*. ASM International: Colorado.
- Ezawa, T., M. Okada, dan Y. Arita. 2013. *Catalyst for Glycerin Dehydration and Process for Producing Acrolein, Process for Producing Acrylic Acid, and Process for Producing Hydrophilic Resin Each Using The Catalyst*. US Patent Publication No. 20130018161 A1
- Fauconet, M., & Valmont. 2016. *Method for Producing Bioresourced Acrylic Acid from Glycerol*. US Patent Publication No. 9,371,261B2
- Felder, R. M., & Ronald, W. R. 2005. *Elementary Principles of Chemical Processes, 3<sup>rd</sup> Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

- Fogler, S. 1992. *Elements of Chemical Reaction Engineering, 2<sup>nd</sup> Edition*. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Gao, S. 1998. *The Dependence of the Acidity on Stoichiometry*. (online): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021951798922679>. (Diakses 12 Maret 2018).
- Google Maps. 2017. *Google Maps*. (Online). <http://www.google.co.id/maps/place>. Diakses pada tanggal 26 Agustus 2017.
- Haar, L., dan John S. G. 1978. *Thermodynamic Properties of Ammonia*. *Jurnal Phys. Chem. Ref. Data*, Volume 7, Nomor 3.
- Hadi, A. 2007. *Pengolahan Limbah Cair Industri*. *Jurnal Prinsip Pengelolaan Pengambilan Sampel Lingkungan*, (Hal: 1-40)
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Unsri: Palembang
- Kern, D.Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Co: New York.
- Kirk, O. 2004. *Encyclopedia of Chemical Technology 4<sup>th</sup> Edition*. USA: John Wiley & Son.
- Levenspiel, Octave. 1999. *Chemical Reaction Engineering, Third Edition*. John Wiley & Sons Inc: USA.
- Ludwig, E. E., 1997. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2, Third Edition*. Gulf Publishing Co: Houston
- McCabe, W. L., 1995. *Unit Operations of Chemical Engineering*. McGraw-Hill Book Co: New York.
- Matches. 2015. *Matche's Process Equipment Cost Estimates*. (online). [www.matche.com](http://www.matche.com). (Diakses 29 November 2016).
- Moriguchi, T. 2013. *Process for Producing acrylic acid*. US 8404887 B2
- Moriguchi, T. dan Y. Arita. 2013. *Process for Producing Acrylic Acid*. US Patent Publication No. 8,404,887 B2
- Perry, R.H. 1999. *Perry's Chemical Engineer's Handbook, 7<sup>th</sup> Edition*. McGraw-Hill Book Co: New York.

- Peters, M.S. dan K.D.Timmerhaus. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Fourth Edition*. Mc Graw-Hill Book Co: New York.
- Peterson, C.J., dkk. 2015. *Processes for Producing Acrylic Acid and Acrylates*. US Patent Publication No. 9,193,661 B2
- Sinnot, R. K. 2005. *Coulson & Richardson's Chemical Engineering, Volume 6, Fourth Edition: Chemical Engineering Design*. Elsevier Butterworth-Heinemann: Oxford
- Smith, J.M. dan H. C. Van Ness. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, Sixth Edition*. Mc Graw-Hill Book Co: New York.
- Treyball, R.E. 1980. *Mass Transfer Operation*. McGraw-Hill Book Co: New York
- Tsuneki, H., dkk. 2016. *Processes for Producing Acrolein, Acrylic Acid and Derivatives Thereof*. US Patent Publication No. 9,422,377 B2
- UN Comtrade. 2016. *The United Nations Commodity Trade Statistics Database*. (Online). <http://www.comtrade.un.org/data/>. Diakses pada tanggal 9 April 2017.
- Victor, B., et.al. 2008. *Physics, Chemistry And Application Of Nanostructures*. Reviews: USA.
- Vilbrandt, F. C., & Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw Hill.
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann: New York.
- Welty et.al. 2008. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer, Fifth Edition*. John Wiley & Sons Inc: USA.
- Winkle, M.V. 1967. *Distillation*. McGraw-Hill Book Co: New York.
- Yanagita, M., dkk. 1971. *Processes for The Producing of Acrylic Acid*. US Patent Publication No. 3,567,772
- Yaws, C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill Book Co: New York.