

**SKRIPSI**

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN STIRENA  
DENGAN PROSES DEHIDROGENASI ETILBENZENA  
KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN**



**Mitha Hanidyah Ulfa**  
NIM 03031181419054

**Adriarsyah Eka Prayoga Nasution**  
NIM 03031281419077

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2018**

# SKRIPSI

## PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN STIRENA DENGAN PROSES DEHIDROGENASI ETILBENZENA KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh  
gelar Sarjana Teknik Kimia pada Universitas Sriwijaya



Mitha Hanidyah Ulfa  
NIM 03031181419054

Adriarsyah Eka Prayoga Nasution  
NIM 03031281419077

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2018**

## HALAMAN PENGESAHAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN STIRENA  
DENGAN PROSES DEHIDROGENASI ETILBENZENA  
KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN

### SKRIPSI

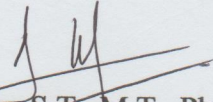
Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:

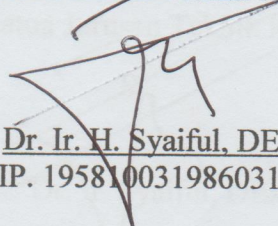
Mitha Hanidyah Ulfa  
NIM. 03031181419054  
Adriarsyah Eka Prayoga Nasution  
NIM. 03031281419077

Indralaya, Agustus 2018

Pembimbing

  
Elda Melwita, S.K., M.T., Ph.D  
NIP. 195511081984032001

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Kimia

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


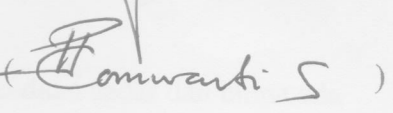
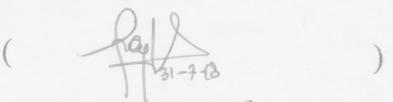


## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul “ Pra Rencana Pabrik Pembuatan Stirena dengan Proses Dehidrogenasi Etilbenzena Kapasitas 100.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan **Mitha Hanidyah Ulfa dan Adriarsyah Eka Prayoga Nasution** dihadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juli 2018.

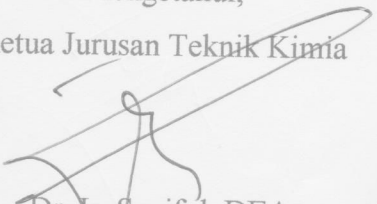
Inderalaya, Juli 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Dr. Ir. Syaiful, DEA.  
NIP. 195810031986031003
2. Ir. Pamilia Coniwanti, M.T.  
NIP. 195512151985032001
3. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001
4. Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T.  
NIP. 197808222002122001
5. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197505112000122001

(  )  
(  )  
(  )  
(  )  
(  )

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
Dr. Ir. Syaiful, DEA  
NIP 195810031986031003



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

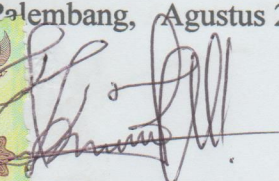
Nama : Mitha Hanidyah Ulfa  
NIM : 03031181419054  
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Stirena dengan Proses Dehidrogenasi Etilbenzena Kapasitas 100.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Adriarsyah Eka Prayoga Nasution 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



  
Mitha Hanidyah Ulfa  
NIM. 03031181419054

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS



Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Adriarsyah Eka Prayoga Nasution

NIM : 03031281419077

Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Stirena dengan Proses  
Dehidrogenasi Etilbenzena Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Mitha Hanidyah Ulfa** 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.



Adriarsyah Eka Prayoga Nasution  
NIM. 03031281419077

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Stirena dengan Proses Dehidrogenasi Etilbenzena Kapasitas 100.000 Ton/Tahun”.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Dalam laporan ini mencakup perencanaan pabrik dan perancangan alat-alat proses pra rencana pabrik pembuatan stirena dengan pertimbangan kelayakan berdasarkan analisa ekonomi. Semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membacanya.

Indralaya, Agustus 2018

Penulis

## RINGKASAN

### PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN STIRENA DENGAN PROSES DEHIDROGENASI ETILBENZENA KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, 25 Juli 2018

Mitha Hanidyah Ulfa dan Adriansyah Eka Prayoga Nasution;

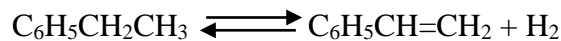
Dibimbing oleh Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

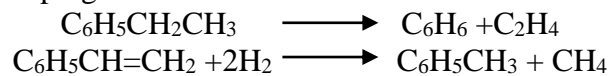
## RINGKASAN

Pabrik pembuatan stirena dari etilbenzena dengan kapasitas 100.000 ton/tahun direncanakan berdiri pada tahun 2022 di Jalan Puloampel No.16, Margasari, Kecamatan Pulo Ampel, Kabupaten Serang, Banten. yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 3,66 Ha. Proses pembuatan stirena menggunakan reaksi dehidrogenasi etilbenzena dengan jenis reaktor *multitubular fixed bed* dengan katalis besi oksida. Kondisi operasi pembuatan gas sintesa adalah 576,85°C dan tekanan 4 atm. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:

Reaksi utama :



Reaksi samping :



Pabrik pembuatan stirena ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang pimpinannya adalah Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan ini adalah *line and staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 175 orang. Hasil dari analisa ekonomi Pra-rencana Pabrik Pembuatan Stirena sebagai berikut:

- *Total Capital Investment* = US \$ 38.805.916,17
- *Selling Price per Year* = US \$ 178.450.215,54
- *Total Production Cost* = US \$ 163.360.509,42
- *Annual Cash Flow* = US \$ 12.451.379,68
- *Pay Out time* = 4,08 tahun
- *Rate of Return on Investment* = 25,28%
- *Discounted Cash Flow* = 30,72%
- *Break Even Point* = 36,57%
- *Service Life* = 11 tahun

**Kata Kunci** : Stirena, Dehidrogenasi Etilbenzena, Analisa Ekonomi, Pabrik, Spesifikasi Peralatan



## UCAPAN TERIMAKASIH

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

1. Allah SWT dengan segala rahmat dan karunia-Nya yang memberikan kekuatan bagi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini
2. Kedua orang tua kami tercinta yang telah memberikan dukungan dalam bentuk kasih sayang, semangat, materi, serta doa yang tak henti-hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak Dr. Ir. H. M. Syaiful, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
4. Ibu Dr. Leily Nurul Komariah, S.T , M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Ibu Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
6. Seluruh dosen dan Staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
7. Serta masih banyak lagi pihak-pihak yang sangat berpengaruh dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

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

Inderalaya, Agustus 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>COVER</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN INTEGRITAS</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	x
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xxiii
<b>BAB I.PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1.Latar Belakang .....	1
1.2.Sejarah dan Perkembangannya .....	1
1.3.Macam-macam Proses Pembuatan.....	2
1.4.Sifat-sifat Fisika dan Kimia .....	4
<b>BAB II.PERENCANAAN PABRIK</b> .....	9
2.1. Alasan Pendirian Pabrik .....	9
2.2. Pemilihan Kapasitas .....	9
2.3. Penentuan Bahan Baku.....	10
2.4. Pemilihan Proses .....	11
2.5. Uraian Proses .....	13
2.6. Flowsheet Proses Pembuatan Stirena.....	15
<b>BAB III.LOKASI DAN LETAK PABRIK</b> .....	16
3.1. Lokasi Pabrik .....	16
3.2. Tata Letak Pabrik .....	19
3.3. Perkiraan Luas Pabrik .....	20

<b>BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS</b> .....	23
4.1. Neraca Massa .....	23
4.2. Neraca Panas .....	29
<b>BAB V. UTILITAS</b> .....	34
5.1. Unit Penyediaan Steam .....	34
5.2. Unit Penyediaan Air .....	35
5.3. Unit Penyediaan Refrigeran .....	39
5.4. Unit Penyediaan Tenaga Listrik .....	40
5.5. Unit Penyediaan Bahan Bakar .....	41
<b>BAB VI. SPESIFIKASI PERALATAN</b> .....	44
6.1. Accumulator-01 (ACC-01) .....	44
6.2. Accumulator-02 (ACC-02) .....	44
6.3. Chiller-01 (CH-01) .....	45
6.4. Chiller-02 (CH-02) .....	46
6.5. Condenser-01 (CD-01) .....	47
6.6. Condenser-02 (CD-02) .....	48
6.7. Heat Exchanger-01 (HE-01) .....	49
6.8. Kolom Destilasi-01 (KD-01) .....	50
6.9. Kolom Destilasi-01 (KD-02) .....	51
6.10. Kompresor-01 (K-01) .....	52
6.11. Knock Out Drum-01 (KOD-01) .....	53
6.12. Knock Out Drum-02 (KOD-02) .....	54
6.13. Partial Condenser-01 (PC-01) .....	54
6.14. Pompa-01 (P-01) .....	55
6.15. Pompa-02 (P-02) .....	56
6.16. Pompa-03 (P-03) .....	56
6.17. Pompa-04 (P-04) .....	57
6.18. Pompa-05 (P-05) .....	57
6.19. Reaktor-01 (R-01) .....	58
6.20. Reboiler-01 (RB-01) .....	58
6.21. Reboiler-02 (RB-02) .....	59
6.22. Tangki-01 (T-01) .....	60
6.23. Tangki-02 (T-02) .....	61
6.24. Tangki-03 (T-03) .....	61
6.25. Vaporizer-01 (VP-01) .....	62
<b>BAB VII. ORGANISASI PERUSAHAAN</b> .....	63
7.1. Bentuk Organisasi Perusahaan .....	63
7.2. Manajemen dan Struktur Organisasi Perusahaan .....	64
7.3. Tugas dan Wewenang .....	65
7.4. Sistem Kerja .....	70
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan .....	72

<b>BAB VIII. ANALISA EKONOMI</b> .....	78
8.1. Keuntungan (Profitabilitas).....	78
8.2. Lama waktu pengembalian modal.....	80
8.3. Total Modal Akhir.....	81
8.4. Laju Pengembalian Modal .....	84
8.5. Break Even Point (BEP).....	85
<b>BAB IX. KESIMPULAN</b> .....	88

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Jumlah Impor Stirena di Indonesia .....	9
Tabel 7.1 Pembagian Waktu Kerja Pekerja <i>Shift</i> .....	71
Tabel 7.2 Perincian Jumlah Karyawan.....	74
Tabel 8.1 Angsuran Pengembalian Modal TCI.....	81
Tabel 8.2 Kesimpulan Analisa Ekonomi .....	87

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kebutuhan Stirena di ASEAN .....	10
Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik.....	16
Gambar 3.2. Lokasi Pabrik Stirena Lokasi di Serang - Banten .....	17
Gambar 3.3. Tata Letak Peralatan.....	21
Gambar 3.4. Tata Letak Pabrik .....	22
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	77
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Event Point</i> .....	86

## DAFTAR NOTASI

### 1. ACCUMULATOR

C	:	Tebal korosi yang diizinkan, m
E	:	Effisiensi pengelasan, dimensionless
ID, OD	:	Inside diameter, Outside diameter, m
L	:	Panjang accumulator, m
P	:	Tekanan operasi, atm
S	:	Working stress yang diizinkan
t	:	Temperatur Operasi, °C
V	:	Volume total, m <sup>3</sup>
V <sub>s</sub>	:	Volume silinder, m <sup>3</sup>
W	:	Laju alir massa, kg/jam
$\rho$	:	Densitas, lb/ft <sup>3</sup>

### 2. CHILLER, HEAT EXCHANGER, PARTIAL CONDENSOR, KONDENSOR, REBOILER, VAPORIZER

A	=	Area perpindahan panas, ft <sup>2</sup>
a <sub>a</sub> , a <sub>p</sub>	=	Area pada annulus, inner pipe, ft <sup>2</sup>
a <sub>s</sub> , a <sub>t</sub>	=	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 <sub>e</sub>	=	Diameter ekivalen, in
f	=	Faktor friksi, ft <sup>2</sup> /in <sup>2</sup>
G <sub>a</sub>	=	Laju alir massa fluida pada annulus, lb/jam.ft <sup>2</sup>
G <sub>p</sub>	=	Laju alir massa fluida pada inner pipe, lb/jam.ft <sup>2</sup>
G <sub>s</sub>	=	Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft <sup>2</sup>
G <sub>t</sub>	=	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
$Re$	=	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

#### 4. KNOCK OUT DRUM

$A$  : Vessel Area Minimum, m<sup>2</sup>



C	: <i>Corrosion</i> maksimum, in
D	: Diameter <i>Vessel</i> minimum, m
E	: <i>Joint</i> efisiensi
H <sub>L</sub>	: Tinggi <i>Liquid</i> , m
H <sub>T</sub>	: Tinggi <i>Vessel</i> , m
P	: Tekanan desain, psi
Q <sub>V</sub>	: Laju alir <i>Volumetric</i> massa, m <sup>3</sup> /jam
Q <sub>L</sub>	: <i>Liquid Volumetric flowrate</i> , m <sup>3</sup> /jam
S	: <i>Working stress Allowable</i> , psi
t	: tebal dinding tangki, m
U <sub>v</sub>	: Kecepatan uap maksimum, m/s
V <sub>t</sub>	: Volume <i>Vessel</i> , m <sup>3</sup>
V <sub>h</sub>	: Volume <i>Head</i> , m <sup>3</sup>
V <sub>t</sub>	: Volume <i>Vessel</i> , m <sup>3</sup>
ρ	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>
μ	: Viskositas, cP
ρ <sub>g</sub>	: Densitas gas, kg/m <sup>3</sup>
ρ <sub>l</sub>	: Densitas <i>Liquid</i> , kg/m <sup>3</sup>

## 5. KOLOM DISTILASI

A <sub>d</sub>	: Downcomer area, m <sup>2</sup>
A <sub>t</sub>	: Tower area, m <sup>2</sup>
A <sub>n</sub>	: Net area, m <sup>2</sup>
A <sub>a</sub>	: Active area, m <sup>2</sup>
A <sub>b</sub>	: Hole area, m <sup>2</sup>
A <sub>da</sub>	: Aerated area, m <sup>2</sup>
C	: Faktor korosi yang dizinkan, m
C <sub>sb</sub>	: Kapasitas vapor, m/det
DI	: Clearance, mm
d <sub>h</sub>	: Diameter hole, mm
d <sub>c</sub>	: 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 Hydrolic, m
$R_m$	:	Reflux minimum
$R_{eh}$	:	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

## 6. 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, kg/m <sup>3</sup>
Rc	=	Rasio Kompresi
W	=	Laju alir massa, lb/jam

## 7. 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> )
$H_{fc}$	= 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

## 8. REAKTOR

$A_t$	= Luas keseluruhan jumlah tube, m <sup>2</sup>
$A_f$	= Free area, m <sup>2</sup>
$A_s$	= Area shell, m <sup>2</sup>
$a'_t$	= Luas area per tube, m <sup>2</sup>
B	= Baffle spacing
$C_{Ao}$	= konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m <sup>3</sup>
C	= Tebal korosi yang dizinkan, atm
$D_K$	= Diameter katalis, cm
$D_T$	= Diameter tube, in
$D_S$	= Diameter shell, m
$F_{Ao}$	= Laju alir umpan, kmol/jam
g	= Gravitasi
Hr	= Tinggi Reaktor, m
ID	= Inside Diameter, m

$k$	= Konstanta laju reaksi, $\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{s}$
$L_t$	= Panjang tube, m
$M_{fr}$	= Laju alir massa umpan, kg/h
$N$	= Bilangan Avogadro
$N_t$	= Jumlah Tube
$OD$	= Outside Diameter, m
$P$	= Tekanan, atm
$P_T$	= tube pitch, atm
$Q_f$	= Volumetric Flowrate Umpan
$Re$	= Bilangan Reynold
$S$	= Working Stress yang diizinkan, atm
$T$	= Temperatur. $^{\circ}\text{C}$
$t$	= Tebal dinding vessel
$V_f$	= Total free volume, $\text{m}^3$
$V_K$	= Volume katalis, $\text{m}^3$
$V_K$	= Volume shell, $\text{m}^3$
$V_t$	= Volume reaktor, $\text{m}^3$
$V_{TR}$	= Volume tube reaktor, $\text{m}^3$
$W_k$	= Berat katalis
$X$	= Konversi
$\rho$	= Densitas
$\varepsilon_A$	= Voidage
$\varphi$	= Porositas Katalis
$\sigma$	= Diameter Partikel, cm
$\Delta P_b$	= Pressure Drop, kPa

## 9. TANGKI

$C$	= Tebal korosi yang diizinkan
$D$	= Diameter tangki, m
$E$	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
$h$	= Tinggi head, m

H	= Tinggi silinder, m
H <sub>T</sub>	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Operasi, atm
S	= Working stress yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
t	= Lama persediaan/penyimpanan, hari
V <sub>h</sub>	= Volume ellipsoidal head, m <sup>3</sup>
V <sub>s</sub>	= Volume silinder, m <sup>3</sup>
V <sub>t</sub>	= Volume tangki, m <sup>3</sup>
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m <sup>3</sup>

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>LAMPIRAN 1. PATEN UTAMA .....</b>	<b>92</b>
<b>LAMPIRAN 2. PATEN PENDUKUNG .....</b>	<b>117</b>
<b>LAMPIRAN 3. TUGAS KHUSUS .....</b>	<b>123</b>
<b>LAMPIRAN 4. BIODATA PENULIS.....</b>	<b>161</b>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Industrialisasi merupakan salah satu upaya perubahan cara pandang masyarakat dalam mencari mata pencaharian dari masyarakat agraris menjadi masyarakat industri (Mardianto, 2012). Upaya industrialisasi ini diharapkan dapat meningkatkan pendapatan masyarakat dan menjamin pertumbuhan ekonomi dalam jangka panjang. Industrialisasi di Indonesia cenderung menurun akibat kondisi krisis yang melanda di segala bidang. Agar dapat bangkit dari keterpurukan ekonomi, bangsa Indonesia hendaknya memanfaatkan segala potensi sumber daya alam Indonesia dalam pembangunan dan perkembangan industri.

Stirena ( $C_6H_5CH = CH_2$ ) merupakan salah satu produk industri petrokimia yang saat ini semakin dibutuhkan. Hal ini terutama disebabkan oleh semakin meningkatnya permintaan produk-produk plastik yang menggunakan bahan dasar stirena seperti *Polystyrene* (PS), *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS), *Styrene Acrylonitrile* (SAN), *Styrene Butadiene Latex* (SBL), *Styrene Butadiene Rubber* (SBR), *Unsaturated Polyester Resins* (UPR). Kebutuhan dunia akan stirena tiap tahunnya mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan kebutuhan produksi plastik berbahan dasar stirena (Kirk Othmer, 1996).

Pra-rencana Pabrik Pembuatan Stirena diharapkan dapat membantu pemerintah Indonesia dalam memenuhi kebutuhan stirena di dalam negeri, memacu perkembangan ekonomi masyarakat, membuka lapangan kerja baru sehingga dapat memanfaatkan ketersediaan sumber daya alam Indonesia dan menurunkan tingkat pengangguran di Indonesia.

### **1.2. Sejarah dan Perkembangannya**

Stirena dikenal sebagai *phenylethylene*, *vinylbenzene*, *styrol*, atau *cinnamene*,  $C_6H_5-CH=CH_2$  merupakan salah satu monomer hidrokarbon aromatik yang sangat penting dalam bidang industri. Pada abad XIX, stirena dibuat dari destilasi storax dan balsam murni. Pembuatan stirena dengan cara dehidrogenasi etilbenzena telah dikembangkan secara komersial pada tahun 1930-



an oleh BASF di Jerman dan DOW Chemical di USA (Ullman, 2002). Selama Perang Dunia II, stirena diproduksi dalam skala besar sebagai karet sintetis. Setelah tahun 1946, stirena tersedia sebagai monomer dengan kemurnian tinggi dan dapat dipolimerisasi menjadi plastik yang stabil, jernih, tidak berwarna, dan murah (Mujiarto, 2005).

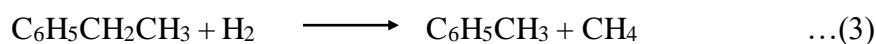
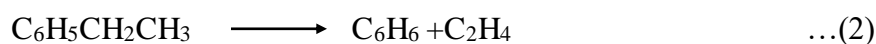
Penggunaan plastik berbasis stirena meluas dengan cepat, dan polistirena sekarang menjadi salah satu termoplastik termahal pada basis biaya pervolume. Stirena sendiri merupakan suatu cairan yang mudah dalam penanganan dan aman. Aktivitas grup vinil membuat stirena mudah dipolimerisasi dan dikopolimerisasi. Ketika teknologi yang tepat tersedia, stirena dengan cepat bertransformasi dari bahan kimia komoditas curah menjadi bahan kimia dengan kapasitas sekitar 20 juta ton pertahun di seluruh dunia (Kemenperin, 2017).

### 1.3. Macam-macam Proses Pembuatan

Proses pembuatan stirena dalam industri dapat dilakukan dengan berbagai metode, antara lain:

#### 1.3.1. Proses Pembuatan Stirena dengan Dehidrogenasi Etilbenzena

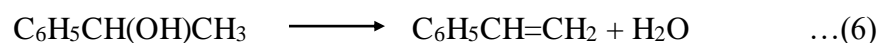
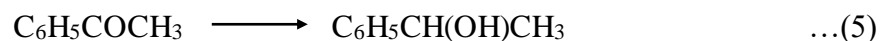
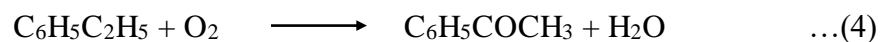
Proses dehidrogenasi langsung etilbenzena dapat menghasilkan 85% produksi stirena secara komersial. Proses dioperasikan pada fase gas dengan menggunakan steam dan penambahan katalis besi oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Reaksi dehidrogenasi etilbenzena bersifat endotermis dan dapat dicapai secara adiabatik maupun isothermal (Ullman, 2002). Reaksi yang terjadi:



Pada proses isothermal temperatur yang digunakan sebesar 585 °C, sedangkan proses adiabatik temperatur reaksinya 640°C. Hasil produk keseluruhan bergantung pada jumlah relatif konversi katalitik menjadi stirena dan *thermal cracking* menjadi *byproducts*. Stirena mentah yang telah didapatkan dari reaksi kemudian dimurnikan dengan cara didistilasi.

### 1.3.2. Proses Pembuatan Stirena dengan Oksidasi Etilbenzena

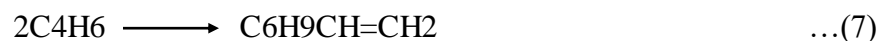
Pada proses ini, etilbenzena dioksidasi menghasilkan dua produk yaitu stirena dan *acetophenone* dengan menggunakan katalis mangan asetat pada temperatur 115-145°C dan tekanan 50 psig. Oksidasi kemudian diikuti dengan reaksi reduksi acetophenone menjadi *α-phenyl ethyl alkohol* dengan penambahan gas hidrogen dan katalis *copper-chrome-iron* pada temperatur 150°C dan tekanan 50 psig. Selanjutnya terjadi proses dehidrasi alkohol menjadi stirena dengan menggunakan katalis titania pada temperatur 250°C (Ullman, 2002). Adapun reaksi-reaksi yang terjadi pada proses oksidasi etilbenzena yaitu:



Kekurangan dari proses ini adalah konversinya 10% lebih rendah dibandingkan proses dehidrogenasi etilbenzena.

### 1.3.3. Proses Pembuatan Stirena dari Butadiena

Proses pembuatan stirena lainnya yang telah diteliti adalah proses pembuatan stirena dari butadiene dimulai dari dimerisasi 1,3-butadiena menjadi 4-vinylcyclohexene-1 (VCH). Reaksi terjadi secara eksotermik dan dapat dicapai baik secara termal maupun katalitik. Proses thermal membutuhkan suhu 140°C dan tekanan 4 MPa dan dapat menghasilkan konversi VCH sebesar 90%. Sedangkan proses katalitik menggunakan katalis berbasis nitrosyl halide-iron complexes dan dioperasikan pada temperatur 0-80°C dan tekanan 0,1-1,30 MPa. VCH kemudian didehidrogenasi menjadi etilbenzena atau dibawah kondisi yang lebih parah dapat didehidrogenasi oksidatif langsung menjadi stirena (Ullman, 2002). Reaksi yang terjadi:



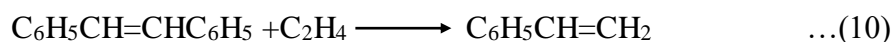
### 1.3.4. Proses Pembuatan Stirena dari Toluena

Ada banyak cara untuk menghasilkan stirena dari toluene karena toluene sudah tersedia setidaknya 15% lebih murah dibandingkan benzene dan tidak beracun. Namun proses pembuatannya belum menjadi kompetitif secara

komersial. Proses pembuatan stirena yang dikerjakan Monsanto dimulai dari oksidasi udara toluene untuk menghasilkan stilbene. Proses menggunakan reaktor fluidized bed untuk mendukung katalis (Ullman, 2002).



Stilbene kemudian direaksikan dengan etilen melalui katalis molybdenum untuk menghasilkan stirena.



Gagasan ini menarik minat, namun proyek tersebut telah ditinggalkan secara formal. Cara lain yang sedang diteliti adalah alkilasi dari toluena dengan methanol melalui katalis zeolita. Selektivitas toluena diakui lebih tinggi, tetapi itu hanya sekitar 50% dari methanol.

#### 1.4. Sifat-sifat Fisika dan Kimia

Sifat fisik dan kimia senyawa-senyawa baik bahan baku maupun produk (utama dan samping) yang dihasilkan, seperti berikut ini:

##### 1. Etilbenzena

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	$\text{C}_8\text{H}_{10}$
2.	Berat molekul (gr/mol)	106,167
3.	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	0,885
4.	Viskositas (cP)	0,669
5.	Wujud	Cair
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, $T_b$ (°C)	136,2
8.	Titik lebur, $T_f$ (°C)	-94,95
9.	Tekanan kritis, $P_c$ (atm)	36,41
10.	Temperatur kritis, $T_c$ (K)	617,17
11.	$\Delta H^\circ_{f(1)}$ (kkal/mol)	7,12
12.	$\Delta G^\circ_{f(1)}$ (kkal/mol)	31,028

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 2. Air

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	H <sub>2</sub> O
2.	Berat molekul (gr/mol)	18,015
3.	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	1,00
4.	Viskositas (cP)	1,00
5.	Wujud	Cair
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, T <sub>b</sub> (°C)	100
8.	Titik lebur, T <sub>f</sub> (°C)	0
9.	Tekanan kritis, P <sub>c</sub> (atm)	217,66
10.	Temperatur kritis, T <sub>c</sub> (K)	647,13
11.	ΔH° <sub>f(1)</sub> (kkal/mol)	-57,7979
12.	ΔG° <sub>f(1)</sub> (kkal/mol)	-54,6351

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 3. Stirena

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	C <sub>8</sub> H <sub>8</sub>
2.	Berat molekul (gr/mol)	104,152
3.	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	0,909
4.	Viskositas (cP)	0,762
5.	Wujud	Cair
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, T <sub>b</sub> (°C)	145,16
8.	Titik lebur, T <sub>f</sub> (°C)	-30,61
9.	Tekanan kritis, P <sub>c</sub> (atm)	39,47
10.	Temperatur kritis, T <sub>c</sub> (K)	648
11.	ΔH° <sub>f(1)</sub> (kkal/mol)	35,21
12.	ΔG° <sub>f(1)</sub> (kkal/mol)	51,1

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 4. Hidrogen

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	H <sub>2</sub>
2.	Berat molekul (gr/mol)	2,016
3.	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	0,089 E-3
4.	Viskositas (cP)	0,88 E-4
5.	Wujud	Gas
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, T <sub>b</sub> (°C)	-252,75
8.	Titik lebur, T <sub>f</sub> (°C)	-259,15
9.	Tekanan kritis, P <sub>c</sub> (atm)	12,95
10.	Temperatur kritis, T <sub>c</sub> (K)	33,18
11.	ΔH <sup>o</sup> f <sub>(1)</sub> (kkal/mol)	0,00
12.	ΔG <sup>o</sup> f <sub>(1)</sub> (kkal/mol)	0,00

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 5. Benzena

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
2.	Berat molekul (gr/mol)	78,114
3.	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	0,873
4.	Viskositas (cP)	0,652
5.	Wujud	Cair
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, T <sub>b</sub> (°C)	80,099
8.	Titik lebur, T <sub>f</sub> (°C)	5,533
9.	Tekanan kritis, P <sub>c</sub> (atm)	48,3
10.	Temperatur kritis, T <sub>c</sub> (K)	288,9
11.	ΔH <sup>o</sup> f <sub>(1)</sub> (kkal/mol)	19,82
12.	ΔG <sup>o</sup> f <sub>(1)</sub> (kkal/mol)	30,989

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 6. Toluena

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	$C_7H_8$
2.	Berat molekul (gr/mol)	92,141
3.	Densitas ( $gr/cm^3$ )	0,865
4.	Viskositas (cP)	0,59
5.	Wujud	Cair
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, $T_b$ ( $^{\circ}C$ )	110,625
8.	Titik lebur, $T_f$ ( $^{\circ}C$ )	-94,991
9.	Tekanan kritis, $P_c$ (atm)	40,6
10.	Temperatur kritis, $T_c$ (K)	320,8
11.	$\Delta H^{\circ}f_{(l)}$ (kkal/mol)	11,95
12.	$\Delta G^{\circ}f_{(l)}$ (kkal/mol)	29,228

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 7. Metana

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	$CH_4$
2.	Berat molekul (gr/mol)	16,043
3.	Densitas ( $gr/cm^3$ )	0,667 E-3
4.	Viskositas (cP)	0,8061
5.	Wujud	Gas
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, $T_b$ ( $^{\circ}C$ )	-162
8.	Titik lebur, $T_f$ ( $^{\circ}C$ )	-187,2
9.	Tekanan kritis, $P_c$ (atm)	45,43
10.	Temperatur kritis, $T_c$ (K)	190,58
11.	$\Delta H^{\circ}f_{(l)}$ (kkal/mol)	-12,14
12.	$\Delta G^{\circ}f_{(l)}$ (kkal/mol)	-17,889

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## 8. Etilena

No.	Sifat-sifat	Keterangan
1.	Rumus molekul	$C_2H_4$
2.	Berat molekul (gr/mol)	28,054
3.	Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	0,118 E-02
4.	Viskositas (cP)	1,03 E-4
5.	Wujud	Gas
6.	Warna	Tidak Berwarna
7.	Titik didih, $T_b$ (°C)	-103,68
8.	Titik lebur, $T_f$ (°C)	-169,14
9.	Tekanan kritis, $P_c$ (atm)	49,662
10.	Temperatur kritis, $T_c$ (K)	282,36
11.	$\Delta H^\circ_{f(1)}$ (kkal/mol)	12,496
12.	$\Delta G^\circ_{f(1)}$ (kkal/mol)	16,282

(Sumber: *Yaws, C. L., 1999*)

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2014. *HTED-04 Ethylbenzene Dehydrogenation Catalyst* (Online). [https://www.alibaba.com/product-detail/HTED-04-Ethylbenzene-DehydrogenationCatalyst\\_1977300230.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.340e30e6aTlqDH&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/HTED-04-Ethylbenzene-DehydrogenationCatalyst_1977300230.html?spm=a2700.7724838.2017115.1.340e30e6aTlqDH&s=p) (Diakses pada 28 Juni 2018).
- Anonim. 2014. *99.999% Purity Anhydrous Ammonia R717 Refrigerant* (Online). [https://www.alibaba.com/product-detail/99-999-Purity-Anhydrous-Ammonia-R717\\_60480914640.html](https://www.alibaba.com/product-detail/99-999-Purity-Anhydrous-Ammonia-R717_60480914640.html) (Diakses pada 28 Juni 2018).
- Anonim. 2014. *99.8% Ethylbenzene molecular weight cas100-41-4* (Online). [https://www.alibaba.com/product-detail/99-8-Ethylbenzene-molecular-weight-cas100\\_565252235.html?spm=a2700.7724838.2017115.33.316341f1zP2SVd](https://www.alibaba.com/product-detail/99-8-Ethylbenzene-molecular-weight-cas100_565252235.html?spm=a2700.7724838.2017115.33.316341f1zP2SVd) (Diakses pada 27 Juni 2018).
- Anonim. 2011. *Chemical Engineering Plant Cost Index* (Online). [folk.ntnu.no/magnehi//cepci\\_2011\\_py.df](http://folk.ntnu.no/magnehi//cepci_2011_py.df) (Diakses pada 27 Juni 2018).
- Anonim. 2012. *Rapat Umum Pemegang Saham (RUPS)* (Online). <http://www.legalakses.com/rapat-umum-pemegang-saham-rups/> (Diakses pada 07 Juli 2018)
- Anonim. 2017. *Stirena* (Online). <https://id.wikipedia.org/wiki/Stirena> (Diakses pada 02 April 2018)
- Bank Indonesia. 2016. *Foreign Exchange Rates* (Online). <http://www.bi.go.id/en/moneter/informasi-kurs/transaksi-bi.aspx> (Diakses pada 06 Juli 2018).
- Debasish, DAS. Mathure, P., dan Attarwala, O. 2016. *Process For The Production of Styrene From Xylene By Dehydrogenation of Ethyl Benzene*. International Application Published Under The Patent Cooperation Treaty, India.
- Domenico, S. Ivano, M. Guldo, C., dan Vincenzino, F. 2009. *Process For Production Of Styrene By Catalitic Gas Phase Dehydrogenation of Ethylbenzene*. Rainhold Publishing Inc: Northern Virginia.



- Dokumen RPJM Banten. 2007. *Kondisi Geografis Banten* (Online) <http://bantenprov.go.id/read/program-kerja.html> (Diakses pada 05 Mei 2018)
- Hill, C. 1937. *An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design*. John Wiley & Sons, Inc: Canada.
- Hindrayani, Aniek. 2010. *Manajemen Operasi*. Yogyakarta: Pohon Cahaya
- Ismail, S. 1999. *Alat Industri Kimia*. Unsri: Palembang.
- Kemenperin. 2017. *Industri Kimia Ketergantungan Bahan Baku Impor*. (Online). <http://www.kemenperin.go.id/artikel/3772/Industri-Kimia-ketergantungan-bahanBaku-Impor> (Diakses pada 08 April 2018)
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. McGraw-Hill Book Co: New York.
- Kirk R.E., and Othmer, D.F.1996. *Encyclopedia of Chemical Technology*. vol.17, 4nd edition, John Wiley & Sons Inc.,New York
- Kumala, H. 2016. *Pedoman Tata Kelola Perusahaan*. PT. Surya Semesta Internusa: Jakarta.
- 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*. Mc Graw-Hill Book Co: New York.
- Mardianto. S. 2012. *Industrialisasi di Indonesia* (Online). <https://sarulmardianto.wordpress.com/2012/03/13/industrialisasi-di-indonesia/> (Diakses pada 02 April 2018)
- Matches. 2018. *Matche's Process Equipment Cost Estimates*. (Online). [www.matche.com](http://www.matche.com). (Diakses pada 28 Juni 2018).
- Muhibbuthabary. 2015. *Dinamika dan Implementasi Hukum Organisasi Perusahaan Dalam Sistem Hukum Indonesia*. Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Ar-Raniry Aceh. 17(3): 240.
- Mujiarto, I. 2005. *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*. Traksi vol 3 (2):65.

- 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.
- Priyono. 2007. *Buku Pengantar Manajemen*. Zifatama: Surabaya.
- 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.
- Tanjung, M. 2017. *Fungsi Organisasi dalam Manajemen Proyek*. Jurnal Manajemen dan Informatika Komputer Pelita Nusantara. Vol 1(1): 22-25
- Treyball, R.E. 1980. *Mass Transfer Operation*. McGraw-Hill Book Co: New York
- Ullman, F. 2002. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 6<sup>th</sup> Edition*. Vol A 16, VCH, Germany
- Ullman, F. 2005. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry 7<sup>th</sup> Edition*. Vol A 16, VCH, Germany
- UN Comtrade. *International Trade Statistics Database* (Online). <https://comtrade.un.org>. (Diakses pada 28 Maret 2018)
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. Butterworth-Heinemann: New York.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. McGraw-Hill Book Co: New York.