

SKRIPSI

**PRA RANCANGAN PABRIK
PEMBUATAN TRIETANOLAMINA
KAPASITAS PRODUKSI 13.000 TON PER TAHUN**

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



Nicky Octaviani

NIM 03031381621068

Mutiara Tri Wahyuni

NIM 0303138162100

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TRIETANOLAMINA KAPASITAS 13.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana

Oleh:

Nicky Octaviani
NIM 03031381621068

Mutiara Tri Wahyuni
NIM 03031381621100

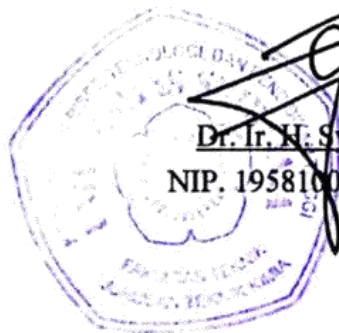
Palembang, Juli 2020

Pembimbing,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA
NIP 195610241981032001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trietanolamina Kapasitas 13.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan Nicky Octaviani dan Mutiara Tri Wahyuni di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juni 2020.

Palembang, 14 Juli 2020

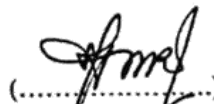
Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D.
NIP. 196009091987031004



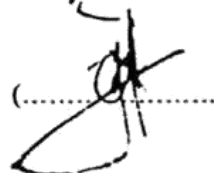
(.....)

2. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP. 196010111985032002



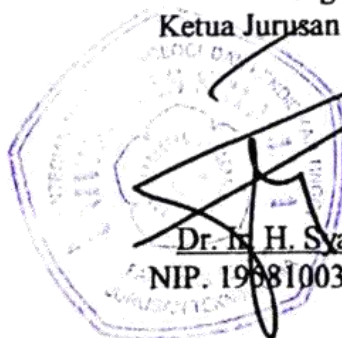
(.....)

3. Enggal Nurisman, S.T, M.T.
NIP. 198106022008011010



(.....)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia




Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 196810031986031003

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Nicky Octaviani (03031381620168)
Mutiara Tri Wahyuni (03031381621100)

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TRIETANOLAMINA
KAPASITAS 13.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah melakukan perbaikan penelitian yang diberikan dalam sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juli 2020 dihadapan tim penguji.

Tim Penguji,

1. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D
NIP. 196009091987031004
2. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP. 196010111985032002
3. Enggal Nurisman, S.T, M.T.
NIP. 198106022008011010

Tanda Tangan



(.....)
(.....)
(.....)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

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

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Nicky Octaviani (03031381620168)
Mutiara Tri Wahyuni (03031381621100)

Judul:


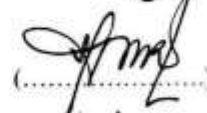

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TRIETANOLAMINA
KAPASITAS 13.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah melakukan perbaikan penelitian yang diberikan dalam sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juli 2020 dihadapan tim penguji.

Tim Penguji,

1. Prof. Dr. Ir. Subriyer Nasir, M.S, Ph.D
NIP. 196009091987031004
2. Dr. Ir. Hj. Susila Arita, DEA
NIP. 196010111985032002
3. Enggal Nurisman, S.T, M.T.
NIP. 198106022008011010

Tanda Tangan


(.....)

(.....)

(.....)

Mengetahui,
Dosen Pembimbing,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA
NIP 195610241981032001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nicky Octaviani
NIM : 03031381621068
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trietanolamina Kapasitas
13.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Mutiara Tri Wahyuni** 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, Juli 2020




Nicky Octaviani

NIM. 03031381621068



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mutiara Tri Wahyuni
NIM : 03031381621100
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trietanolamina Kapasitas
13.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Nicky Octaviani** 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, Juli 2020



Mutiara Tri Wahyuni

NIM. 03031381621100



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah Yang Maha Esa atas berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul **“Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Trietanolamina Kapasitas Produksi 13.000 Ton per Tahun”**. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan kurikulum Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) untuk mengikuti Ujian Akhir di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penulisan skripsi tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik tak lepas dari banyaknya dukungan, bimbingan, serta bantuan yang telah diberikan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA, selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
2. Dr. Leily Nurul Komariah, S.T., M.T., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
3. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
4. Kedua Orang Tua dan Keluarga atas semua doa dan dukungan.
5. Seluruh Dosen beserta Staff Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
6. Seluruh teman-teman Teknik Kimia angkatan 2016 yang turut membantu dalam penyelesaian skripsi tugas akhir ini.

Penulis berharap tugas akhir ini agar dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Palembang, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR NOTASI	viii
ABSTRAK	xvi
 BAB I PEMBAHASAN UMUM	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	2
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan Etanolamina.....	3
1.4. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Bahan Baku dan Produk	7
 BAB II PERENCANAAN PABRIK	
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	9
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi.....	10
2.3. Pemilihan Bahan Baku	12
2.4. Pemilihan Proses	12
2.5. Uraian Proses	13
 BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	
3.1. Lokasi Pabrik	18
3.2. Tata Letak Pabrik	21
3.3. Tata Letak Peralatan Pabrik	24
3.4. Perkiraan Luas Tanah yang Dipergunakan.	25
 BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1. Neraca Massa	26
4.2. Neraca Panas	37

BAB V UTILITAS

5.1. Unit Pengadaan Steam.....	45
5.2. Unit Pengadaan Air	65
5.3. Unit Pengadaan Listrik.....	66
5.4. Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	67

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN..... 73

BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN

7.1. Bentuk Perusahaan	105
7.2. Struktur Organisasi.....	106
7.3. Sistem Kerja	108
7.4. Penentuan Jumlah Karyawan	111
7.5. Kesejahteraan Karyawan.....	114
7.6. Keselamatan dan Kesehatan Kerja	116
7.7. <i>Corporate Social Responsibility</i> (CSR)	117

BAB VIII ANALISA EKONOMI

8.1. <i>Percent Profit on Sales</i> (POS).....	120
8.2. <i>Percent Return on Investment</i> (ROI).....	121
8.3. <i>Pay Out Time</i> (POT)	122
8.4. <i>Break Even Point</i> (BEP).....	124
8.5. <i>Shut Down Point</i> (SDP).....	125
8.6. <i>Discounted Cash Flow</i> (DCF).....	125

BAB IX KESIMPULAN 127

BAB X TUGAS KHUSUS..... 128

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Estimasi Produksi Tahunan Trietanolamina di Amerika Serikat .	2
Tabel 1.2.	Perbandingan Proses Aminasi Pembuatan Etanolamina.....	5
Tabel 2.1.	Impor Trietanolamina di Indonesia.....	11
Tabel 5.1.	Kebutuhan Air Umum Pabrik	45
Tabel 5.2.	Kebutuhan Air Pendingin Pabrik	46
Tabel 5.3.	Kebutuhan <i>Steam</i> Proses.....	47
Tabel 5.4.	Karakteristik <i>Boiler Feed Water</i>	66
Tabel 5.5.	Data LHV Komponen LNG.....	67
Tabel 5.6.	Kebutuhan Listik untuk Proses	68
Tabel 5.7.	Kebutuhan Listik untuk Utilitas.....	69
Tabel 5.8.	Kebutuhan Lumen	70
Tabel 5.9.	Kebutuhan AC	71
Tabel 5.10.	Hasil Perhitungan Kebutuhan Listrik.....	72
Tabel 7.1.	Pembagian Jadwal Kerja Karyawan <i>Shift</i>	110
Tabel 7.2.	Pembagian Jumlah Karyawan.....	113
Tabel 8.1.	Biaya Produksi.....	121
Tabel 8.2.	<i>Cash Flow</i>	123
Tabel 8.3.	<i>Discounted Cash Flow</i>	124
Tabel 8.4.	<i>Fixed Manufacturing Cost</i> (Fa)	125
Tabel 8.5.	<i>Variable Cost</i> (Va).....	125
Tabel 8.6.	<i>Regulated Cost</i> (Ra).....	125
Tabel 10.1.	Pertimbangan dan Perbedaan Jenis Kolom Destilasi	154
Tabel 10.2.	Pertimbangan Pemilihan Tipe <i>Plate Column</i>	156
Tabel 10.3.	Batasan Desain <i>Sieve Plate Column</i>	161

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	<i>Trend</i> Impor Trietanolamina di Indonesia.....	11
Gambar 2.2.	Diagram Alir Proses Pabrik Pembuatan Etanolamina Kapasitas 13.000 Ton/Tahun	17
Gambar 3.1.	Peta Lokasi Pabrik.....	19
Gambar 3.2.	Peta Lokasi Pabrik berdasarkan <i>Google Map</i>	20
Gambar 3.3.	Tata Letak Pabrik	23
Gambar 3.4.	Tata Letak Peralatan.....	25
Gambar 5.1.	Diagram Alir Proses Pengolahan Air	49
Gambar 7.1.	Struktur Organisasi Perusahaan.....	119
Gambar 8.1.	Analisa BEP dan SDP.	126
Gambar 10.1.	Reaktor CSTR	136
Gambar 10.2.	<i>Single Bed Reactor</i>	137
Gambar 10.3.	<i>Multi Bed Reactor</i>	138
Gambar 10.4.	<i>Multi-tube Bed Reactor</i>	139
Gambar 10.5.	<i>Fluidized Bed Reactor</i>	140
Gambar 10.6.	Reaktor <i>Shell and Tube</i>	144
Gambar 10.7.	Kolom Distilasi dengan <i>Stripping</i> dan <i>Rectifying Section</i>	146
Gambar 10.8.	Perbandingan <i>Tray Column</i> dan <i>Packed Column</i>	154
Gambar 10.9.	Contoh Desain <i>Tray</i> pada Kolom Distilasi.....	155
Gambar 10.10.	Jenis <i>Tray</i> atau <i>Plate</i>	157
Gambar 10.11.	Bagian <i>Bottom</i> Kolom Distilasi.....	158
Gambar 10.12.	<i>Top</i> Distilasi	158

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Neraca Massa

Lampiran 2. Perhitungan Neraca Panas

Lampiran 3. Perhitungan Spesifikasi Peralatan

Lampiran 4. Perhitungan Ekonomi

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 ³
V _s	=	Volume silinder, m ³
W	=	Laju alir massa, kg/jam
ρ	=	Densitas, lb/ft ³

2. COOLER, CONDENSER, HEATER, REBOILER, VAPORIZER

A	=	Area perpindahan panas, ft ²
a _a , a _p	=	Area pada annulus, inner pipe, ft ²
a _s , a _t	=	Area pada shell, tube, ft ²
a''	=	External surface per 1 in, ft ² /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 ² /in ²
G _a	=	Laju alir massa fluida pada annulus, lb/jam.ft ²
G _p	=	Laju alir massa fluida pada inner pipe, lb/jam.ft ²
G _s	=	Laju alir massa fluida pada shell, lb/jam.ft ²
G _t	=	Laju alir massa fluida pada tube, lb/jam.ft ²
g	=	Percepatan gravitasi
h	=	Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft ² .°F

h_i, h_{i0}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luartube
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² .°F
L	= Panjang tube, pipa, ft
$LMTD$	= Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
• P_s	= Penurunan tekanan pada annulus, Psi
• P_t	= Penurunan tekanan tube, Psi
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
Q	= Beban panas pada heat exchanger, Btu/jam
R_d	= Dirt factor, Btu/jam.ft ² .°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 ² .°F
W	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
w	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
•	= Viscositas, cp

3. KOLOM DISTILASI

A_d	= Downcomer area, m ²
A_t	= Tower area, m ²
A_n	= Net area, m ²
A_a	= Active area, m ²
A_b	= Hole area, m ²
A_{da}	= Aerated area, m ²
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
$h \cdot$	= Weep point, cm
H	= Tinggi kolom, m
L_w	= Weir length
L	= Laju alir massa liquid solvent, kg/det
N_m	= Jumlah tray minimum
$\cdot P$	= Pressure drop
P	= Tekanan desain, atm
q	= Laju alir volume umpan solvent, m ³ /det
Q	= Laju alir volume umpan gas, m ³ /det
Q_p	= Aeration factor, dimensionless
R	= [L/D] refluks ratio, dimensionless
R_h	= Radius Hydrolic, m
R_m	= Refluks minimum
Re_h	= Reynold modulus, dimensionless
S	= Working stress, N/m ²
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
\cdot	= Relatif volatil, dimensionless
\cdot	= Liquid gradien, cm
\cdot_g	= Densitas gas, kg/m^3
\cdot_l	= Densitas liquid, kg/m^3
\cdot	= Fractional entrainment, dimensionless

4. MIXING TANK

b	= Lebar blade impeller, m
BHP	= Brake Horse Power, HP
C_c	= Faktor korosi maksimum yang diizinkan
D_d	= Tinggi impeller, m
D_i	= Diameter impeller, m
D_t	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi pengelasan
f	= Tekanan kerja yang diinginkan, kPa
H_h	= Tinggi torispherical head, m
H_t	= Tinggi tangki, m
H_s	= Tinggi silinder, m
H_L	= Tinggi level liquid, m
l	= Panjang blade impeller, m
L_B	= Lebar baffle, m
N	= Kecepatan putar pengaduk, rpm
N_{re}	= Bilangan reynold
OD	= Outside diameter, m
P	= Tekanan operasi, atm
spgr	= Specific gravity
T	= Temperatur operasi, $^{\circ}\text{C}$
t	= Waktu tinggal, jam

t_h	= Tebal dinding torispherical head, m
V_t	= Volume tangki, m^3
V_s	= Volume silinder, m^3
V_h	= Volume torispherical head, m^3
W	= Laju alir massa, kg/jam
WELH	= Water Equivalent Liquid Height, m
ρ	= Densitas, kg/m^3

5. POMPA

A	= Area alir pipa, in^2
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^2
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 ($ft \text{ lb}_m/\text{lb}_f$)
H_{fe}	= Sudden expansion friction loss ($ft \text{ lb}_m/\text{lb}_f$)
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 volumetrik

- V_f = Kapasitas pompa, lb/jam
 V = Kecepatan alir
 $\cdot P$ = Beda tekanan, Psi

6. REAKTOR

- C_{pi} = Kapasitas panas bahan i .
 F_{Ao} = Laju alir massa mula-mula.
 F_i = Laju alir bahan i
 H_i = Enthalpi bahan i
 ID_t = Diameter dalam *tube*
 N_t = Jumlah *tube*
 T_s = Suhu pendingin dalam *shell*
 U_D = Koefisien perpindahan panas menyeluruh
 X_A = Konversi
 Z = Panjang reaktor
 $-\Delta H_r$ = Panas reaksi
 W_s = Jumlah massa pendingin
 C_{ps} = Kapasitas panas pendingin
 U = Koefisien perpindahan panas overall
 V_0 = Volumetric flowrate, m³/jam
 τ = Residence Time
 t_h = Tebal dinding torispherical head, in
 t_s = Tebal silinder, in
 k = Konstanta laju reaksi, m³/kmol.s
 OD = Outside Diameter, m
 P = Tekanan, atm
 D_{opt} = Diameter optimum
 A = Luas area, m²
 V_T = Laju alir tube side, m³/s
 U_t = Kecepatan bagian tube, m/s
 Db = Diameter bundle, m

C_b	= Diameter shell clearance, m
D_s	= Inside diameter shell, m
h_{oc}	= Koefisien perpindahan panas, $W/m^2 \text{ } ^\circ C$
$P't$	= Sudu tube vertikal, m
E	= Energi Aktivasi
ρ	= Densitas

7. STRIPPER

A	= Luas permukaan, m^2
a_p	= Luas permukaan spesifik packing, m^2/m^3
c	= Densitas molar
C_c	= Faktor korosi maksimum yang diizinkan
C_d	= Konstanta empirik
C_f	= Konstanta flooding pada tray
d_s	= Diameter permukaan packing, m
D_{gas}	= Difusifitas gas, m^2/s
D_{liq}	= Difusifitas liquid, m^2/s
D_t	= Diameter tower, m
E	= Efisiensi pengelasan
F	= Koefisien volumetrik
G	= Laju alir, kg/s
H_{toL}	= Tinggi transfer unit, m
H_{ST}	= Tinggi stripper, m
L_1	= Laju alir liquid masuk, kg/jam
m	= slope
n	= jumlah tray
N_{toL}	= Jumlah transfer unit
P	= Tekanan operasi, atm
p	= Kontanta empirik tekanan
S	= Tekanan kerja yang diizinkan, psi
T	= Temperatur operasi, $^\circ C$

t	= Tebal dinding, m
Z	= Tinggi packing, m
α	= Interfacial area , m^2/m^3
β	= Konstanta empirik untuk kecepatan flooding
σ	= Surface tension, N/m
ε	= Operating void space
μ_{gas}	= Viskositas gas, cP
μ_{liq}	= Viskositas liquid, Cp
ρ_{gas}	= Densitas gas
ρ_{liq}	= Densitas liquid, kg/m^3
φ	= Hold up, m^2/m^3
ΔHP	= Pressure drop, atm

8. 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_h	= Volume torispherical head, m^3
V_s	= Volume silinder, m^3
V_t	= Volume tangki, m^3
W	= Laju alir massa, kg/jam
\cdot	= Densitas, kg/m^3

ABSTRAK

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN TRIETANOLAMINA KAPASITAS PRODUKSI 13.000 TON PER TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juni 2020

Nicky Octaviani dan Mutiara Tri Wahyuni;
Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xvi + 583 halaman, 24 tabel, 21 gambar, 4 lampiran

ABSTRAK

Pabrik pembuatan Trietanolamina berkapasitas produksi 13.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2025 di Kawasan Industri Surya Cipta, Kutamekar,, Kecamatan Ciampel, Kabupaten Karawang, Jawa Barat yang diperkirakan memiliki luas area 4,7 Ha. Proses pembuatan trietanolamina ini mengacu pada Patent US 20190039997 A1 dengan proses aminasi Etilen oksida dan Amoniak membentuk produk utama Trietanolamina (TEA), serta produk samping Monoetanolamina (MEA) dan Dietanolamina (DEA). Reaktor jenis *Shell and Tube Reactor* beroperasi pada 76,85 °C dan tekanan 9,86 atm tanpa menggunakan katalis. Pabrik ini akan didirikan dengan bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line and Staff*, yang dipimpin oleh seorang Direktur Utama dengan total karyawan 242 pekerja. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik etanol ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, yaitu sebagai berikut:

- Biaya Investasi = USD 44.817.085,76
- Hasil penjualan per tahun = USD 80.775.250,71
- Biaya produksi per tahun = USD 69.502.677,70
- Laba bersih per tahun = USD 7.890.801,11
- *Pay Out time* = 2,78 tahun
- *Return on investment* = 26,85%
- *Discounted Cash Flow-ROR* = 26,28%
- *Break Even Point* = 34,53%
- *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci: Trietanolamina, TEA, Spesifikasi Peralatan, Analisa Ekonomi

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia,



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

Palembang, Juli 2020

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA
NIP. 195610241981032001

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Dewasa ini penting bagi bangsa Indonesia sebagai negara berkembang untuk meningkatkan pembangunan disegala bidang termasuk dari sektor industri. Pembangunan industri nasional diarahkan untuk meningkatkan daya saing agar mampu menerobos pasar internasional dan mempertahankan pasar dalam negeri. Upaya pembangunan tersebut diharapkan dapat memberikan kontribusi yang besar bagi pendapatan negara. Salah satu perkembangan dalam pembangunan industri nasional adalah industri kimia. Pertumbuhan industri kimia terus mengalami peningkatan baik dari segi kualitas maupun kuantitas. Industri kimia diharapkan berkembang pesat untuk mengimbangi kebutuhan yang semakin berkembang dan meningkat sesuai dengan kemajuan tingkat perekonomian bangsa, serta mampu mengimbangi permintaan pasar dunia dengan tidak mengabaikan kualitas produk.

Bahan baku atau bahan setengah jadi yang dibutuhkan oleh industri kimia atau industri non kimia dapat dipenuhi dengan jalan produksi sendiri atau importir. Namun masih banyak sekali bahan baku industri di Indonesia yang masih diimpor dari negara lain. Salah satunya bahan pengisi yaitu trietanolamina (TEA) yang setiap tahunnya terjadi peningkatan jumlah impor yang dilakukan oleh para pelaku industri di Indonesia. Sejalan dengan tujuan pembagunan industri sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan impor bahan kimia dari negara lain, maka langkah pendirian pabrik TEA akan meningkatkan keberadaan sektor industri yang diharapkan dapat menumbuhkan dan memperkuat ekonomi nasional.

Atas pertimbangan diatas, maka dibuatlah suatu pra rancangan pabrik pembuatan TEA, sebagian besar TEA berfungsi dalam industri kosmetik sebagai surfaktan atau pengatur pH dan bisa digunakan untuk pengharum. TEA digunakan dalam pembuatan *emulsifier* dan agen pendispersi untuk spesialisasi tekstil, bahan kimia pertanian, lilin, mineral dan minyak nabati, parafin, pengkilap, *cutting oil*,

pengemulsi minyak bumi, dan aditif semen. TEA juga sebagai perantara untuk resin, *plasticizer*, dan bahan kimia karet. Pendirian pabrik pembuatan TEA di Indonesia diharapkan berdampak positif untuk menciptakan lapangan kerja dan kesempatan kerja bagi masyarakat sekitar, menambah pendapatan negara dengan membayar pajak, mendorong industri lain memanfaatkan TEA, dan upaya untuk membuka lapangan pekerjaan baru terutama di daerah didirikannya pabrik.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Menurut *International Agency for Research (IARC), Monograph Volume 77*, etanolamina dibuat pada tahun 1860 oleh Wurtz dari *ethylene chlorohydrin* dan larutan amonia. Pada akhir abad ke-19 campuran etanolamina kemudian dipisahkan ke komponen mono-, di-, dan tri-etanolamina yang dilakukan dengan destilasi fraksional. Etanolamina tidak tersedia secara komersial sebelum 1930-an dan berkembang sebagai *intermediate* yang penting setelah tahun 1945 karena adanya produksi skala besar dari etilen oksida. Sejak pertengahan 1970-an, potensi produksi trietanolamina mencapai sangat murni dan tidak berwarna dalam industri.

Etanolamina diproduksi pada skala industri secara eksklusif melalui reaksi etilen oksida (IARC, 1994) dan *excess* amonia. Reaksi ini berlangsung lambat, tetapi dipercepat oleh air. Perkiraan produksi tahunan trietanolamina di Amerika Serikat dapat dilihat pada Tabel 1.1. Produksi di seluruh dunia diperkirakan mencapai 100.000–500.000 ton per tahun dan produksi Eropa sebesar 50.000–10.000 ton per tahun (*United Nations Environment Program Chemicals*, 2000).

Tabel 1.1. Estimasi Produksi Tahunan Trietanolamina di Amerika Serikat

Tahun	Produksi (ribu ton)
1960	13
1965	25
1970	38
1975	42
1980	56
1985	71
1990	98

(Sumber: *Bollmeier*, 1992)

Industri modern yang memproduksi etanolamina beroperasi dengan mereaksikan etilen oksida dengan amonia yang hadir bersama air. Hal ini membuktikan bahwa air berperan dalam reaksi yang mana bila tidak terdapat air, maka etilen oksida dan amonia tidak dapat bereaksi. Pada kenyataannya, air berperan sebagai katalis pada reaksi. Monoetanolamina, dietanolamina, dan trietanolamina diproduksi dengan konsep “*three parallel-consecutive competitive reactions*” (McMillan, 1991).

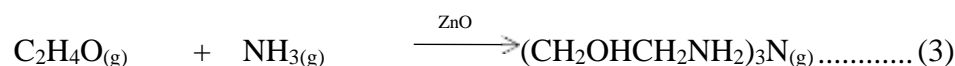
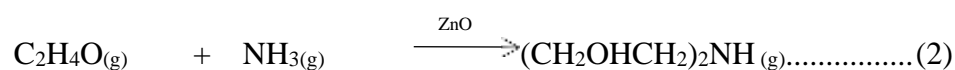
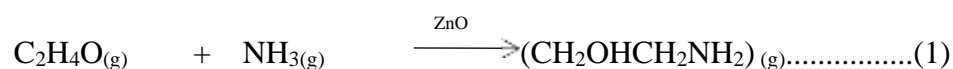
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Trietanolamina

Beberapa macam proses pembuatan trietanolamina yang dibedakan berdasarkan penggunaan bahan baku, katalis, kondisi, dan jenis reaksi (Frauenkron dkk, 2012), sebagai berikut:

- 1) Proses dengan menggunakan katalis *Zinc Oxide*
- 2) Proses amminasi dari *Ethylene Oxide* dan Larutan Ammonia
- 3) Proses ammonolisa *Ethylene Chlorohidrin*
- 4) Proses hidrogenasi *Formaldehyde Cyanohidrin*

1.3.1. Proses Dengan Menggunakan Katalis *Zinc Oxide*

Pada proses ini fase reaksi dalam fasa gas dan terjadi karena adanya kontak dengan katalis. Pada reaksi ini biasanya digunakan reaktor jenis *fixed bed*, aliran bahan baku berupa amonia dan etilen oksida yang dialirkan menuju reaktor dan berkontak dengan katalis sehingga terjadi reaksi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :

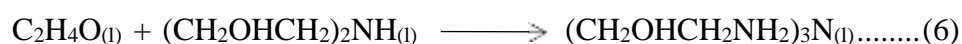
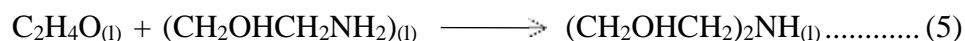
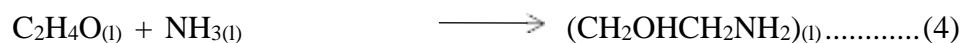


Kondisi operasi yang terjadi pada reaksi ini adalah temperatur 80-170°C dan tekanan di atas atmosfer.

1.3.2. Proses Amminasi dari Ethylene Oxide dan Larutan *Ammonia*

Pada proses ini, direaksikan etilen oksida dengan larutan amonia pada fase *liquid*, tanpa menggunakan katalis dan pembentukannya terjadi secara eksotermis.

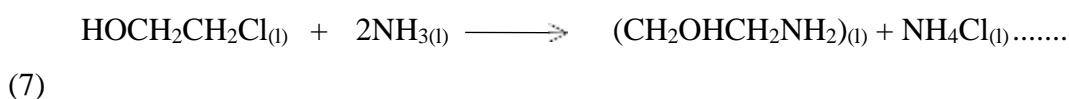
Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Kondisi operasi yang terjadi pada reaksi ini adalah temperatur 40-100°C dan tekanan di atas 1 atm. Distribusi produk yang dihasilkan tergantung pada perbandingan reaktan yang digunakan. Pada proses ini akan dihasilkan produk dengan konversi dan kemurnian yang cukup tinggi.

1.3.3. Proses Ammonolisa *Ethylene Chlorohidrin*

Bahan baku yang digunakan adalah *ethylene chlorohidrin* dan larutan amonia. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Kesukaran dalam proses ini adalah pemisahan amina tersebut dari Ammonium klorida.

1.3.4. Proses *Hydrogenasi Formaldehyde Cyanohidrin*

Bahan baku yang digunakan pada proses produksi ini adalah *formaldehyde cyanohidrin* yang direaksikan dengan hidrogen, dan menggunakan katalis nikel. Produk yang dihasilkan berupa monoetanolamina dan dietanolamin. Reaksi yang terjadi sebagai berikut:



Tabel 1.2. Perbandingan Proses Aminasi Pembuatan Etanolamina

Parameter	Proses 1 US 2019/0039997 A1 07 Februari 2019	Proses 2 EP 1443036 B2 27 Juni 2018	Proses 3 US 9120720 B2 1 September 2015	Proses 4 US 9227912 B2 5 Januari 2016
Bahan Baku	- Etilen oksida liquid - Larutan <i>Ammonia</i>	- Etilen oksida liquid - <i>Ammonia</i> liquid	- Etilen oksida liquid - <i>Ammonia</i> liquid	- Etilen oksida liquid - Larutan air- <i>ammonia</i>
Proses	Proses Aminasi	Proses Aminasi	Proses Aminasi	Proses Aminasi
Sintesis	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_{(l)} + \text{NH}_{3(aq)} \cdot (\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{NH}_2)_{(l)}$ $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_{(l)} + (\text{CH}_2\text{OHCH}_2\text{NH}_2)_{(l)} \cdot (\text{CH}_2\text{OHCH}_2)_2\text{NH}_{(l)}$ $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_{(l)} + (\text{CH}_2\text{OHCH}_2)_2\text{NH}_{(l)} \cdot (\text{CH}_2\text{OHCH}_2)_3\text{N}_{(l)}$			
Persamaan Reaksi				
Kondisi Operasi	T = 80-120 °C P = 1-10 MPa	Reaktor 1: T = 20-100°C P = 8-15 MPa Reaktor 2: T = 25-150°C P = 0,09-16 MPa	T = 30-75°C P = 1-2 MPa	T = 40-75°C P = 1-2 MPa
Katalis	Tanpa Katalis	Reaktor 1 : <i>Aluminosilicate</i> (ZSM-5)	Tanpa Katalis	Tanpa Katalis
Jenis Reaktor	<i>Shell and Tube Reactor</i>	Reaktor 1 : <i>Fixed-bed reactor</i> Reaktor 2 : <i>Shell and tube reactor</i>	<i>Tubular reactor</i>	<i>Tubular reactor</i>
Separasi	- Memisahkan <i>ammonia</i> yang tidak bereaksi dengan menggunakan	- Memisahkan <i>ammonia</i> yang tidak bereaksi dalam <i>Stripper</i> dengan steam	- Memisahkan <i>ammonia</i> yang tidak bereaksi dalam <i>Stripper</i> dengan steam	- Memisahkan <i>ammonia</i> yang tidak bereaksi, air, dan

	<p><i>steam</i> dalam <i>Stripper</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Memisahkan sisa-sisa air dan reaktan yang tidak bereaksi dalam <i>Dehydrating column</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Me-recovery ammonia</i> keluaran <i>Stripper</i> dalam <i>Absorber</i> dengan H₂O sebagai absorben - Menghilangkan kandungan air pada <i>Dehydration Column</i> <p>(Separasi-Purifikasi mengacu pada EP 2177503B1)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Me-recovery ammonia</i> keluaran <i>Stripper</i> dalam <i>Absorber</i> dengan H₂O sebagai absorben 	<p>kompenen volatil dengan 2 buah <i>Stripper</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Merecovery ammonia</i> keluaran <i>Stripper</i> untuk direcycle kembali ke reaktor dengan 2 buah <i>Absorber</i>
Purifikasi	<ul style="list-style-type: none"> - Memisahkan dan memurnikan produk dengan 4 buah <i>Distillation Column</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Memisahkan dan memurnikan produk dengan 3 buah <i>Distillation Column</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Menghilangkan kandungan air dengan 2 buah <i>Evaporator</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Mengurangi kadar air dan menghasilkan konsentrat larutan produk etanolamina di bagian bawah <i>Evaporator</i>, dengan 2 buah <i>Evaporator</i>.
Produk	TEA	TEA	MEA, DEA, TEA	MEA, DEA, TEA
Produk Utama	TEA-1EO	MEA, DEA		
Produk Samping				

1.4. Sifat - Sifat Fisik dan Kimia

1.4.1. Bahan Baku

1) Etilen Oksida (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

Rumus Molekul	: C ₂ H ₄ O
Berat Molekul	: 44,053 kg/kmol
Densitas	: 0,882 gr/ml (pada 25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 10,6°C
Titik Lebur	: -111,7°C
Temperatur Kritis	: 196°C
Tekanan Kritis	: 70,99 atm
ΔH_f° (kJ/mol)	: -95,73
Fase	: cair

2) Amoniak (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

Rumus Kimia	: NH ₃
Berat Molekul	: 17,031 gr/mol
Densitas	: 0,602 gr/ml (pada 25°C, 1 atm)
Titik Didih	: -33,35°C
Titik Lebur	: -77,74°C
Temperatur Kritis	: 132,5°C
Tekanan Kritis	: 111,30 atm
ΔH_f° (kJ/mol)	: -45,90
Wujud	: gas

3) Air (pubchem.ncbi.nlm.nih.gov)

Rumus Kimia	: H ₂ O
Berat Molekul	: 18,015 gr/mol
Densitas	: 1,027 gr/ml (pada 25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 100°C
Titik Lebur	: 0°C
Temperatur Kritis	: 373,98°C
Tekanan Kritis	: 217,66 atm
ΔH_f° (kJ/mol)	: -285,83
Wujud	: cair

1.4.2. Produk

1) Monoetanolamina (www.dowamines.com)

Rumus Kimia	: C_2H_7NO
Berat Molekul	: 61,08 gr/mol
Densitas	: 1,014 gr/ml (pada 25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 171°C
Titik Lebur	: 10,5°C
Temperatur Kritis	: 364,85°C
Tekanan Kritis	: 67,80 atm
ΔH_f° (kJ/mol) / H_f° (kJ/mol)	: -507,5
Wujud	: cair

2) Dietanolamina (www.dowamines.com)

Rumus Kimia	: $C_4H_{11}NO_2$
Berat Molekul	: 105,14 gr/mol
Densitas	: 1,088 gr/ml (pada 25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 268,89°C
Titik Lebur	: 28°C
Temperatur Kritis	: 441,85°C
Tekanan Kritis	: 32,27 atm
ΔH_f° (kJ/mol) / H_f° (kJ/mol)	: -397,13
Wujud	: cair

3) Trietanolamina (www.dowamines.com)

Rumus Kimia	: $C_6H_{15}NO_3$
Berat Molekul	: 149,190 gr/mol
Densitas	: 1,126 gr/ml (pada 25°C, 1 atm)
Titik Didih	: 335,4°C
Titik Lebur	: 21,5°C
Temperatur Kritis	: 513,85°C
Tekanan Kritis	: 24,17 atm
ΔH_f° (kJ/mol) / H_f° (kJ/mol)	: -665,7
Wujud	: cair

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. 2020. *Harga Amonia*. (Online). https://www.alibaba.com/product-detail/Hot-Sale-99-9-Purity-Liquid_62263087576.html?spm=a2700.772-4857.normalList.47.43457a13arGb0D. (Diakses pada 8 Mei 2020).
- Alibaba. 2020. *Harga Dietanolamina*. (Online). https://www.alibaba.com/product-detail/Chemical-dicyandiamide-chemical-intermediates-cheap_62138-604675.html?spm=a2700.galleryofferlist.0.0.7d6b6b20rjvFKv. (Diakses pada 8 Mei 2020).
- Alibaba. 2020. *Harga Etilen Oksida*. (Online). <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/3n5-purity-99-95-ethylene-gas-oxide-62452354398-.html?spm=a2700.8699010-.normalList.62.71c5-5a54m0cPg8>. (Diakses pada 8 Mei 2020).
- Alibaba. 2020. *Harga Monoetanolamina*. (Online). https://www.alibaba.com/product-detail/MEA-99-5-min-monoethanolamine-price_1430122740-.html?spm=a2700.7724857.normalList.137.2b337101eml13v. (Diakses pada tanggal 8 Mei 2020).
- Alibaba. 2020. *Harga Trietanolamina*. (Online). <https://hbmojin216.en.made-in-china.com/product/SKLndQMxXvRb/China-Good-Supplier-Triethanolamine-99-CAS-102-71-6-for-Carbopol-940.html>. (Diakses pada tanggal 8 Mei 2020).
- Andrew, W. S. 2014. *Atmospheric Distillation Process*. United States of America: American Institute of Chemical Engineers.
- Aries, R.S. dan Newton, R. D. 1955. *Chemical Engineering Cost Estimation*. New York: Mc. Graw Hill Book Co, Inc.
- Badan Pusat Statistik. 2019. *Data Impor Trietanolamina di Indonesia*. (Online) http://www.bps.go.id/all_newtemplate.php/. (Diakses pada tanggal 3 September 2020).

- Bank Indonesia. 2020. *Suku Bunga Untuk Investasi Loan*. (Online). https://www.bi.go.id/seki/tabel/TABEL1_26.pdf. (Diakses pada tanggal 26 April 2020).
- BMKG. 2014. *Kualitas udara*. (Online). www.bmkg.go.id. (Diakses pada tanggal 20 April 2020).
- Bollmeier, A. F. 1992. *Alkanolamines Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology 4th Edition, Volume 2*. New York: John Wiley.
- Brown, T.L., dkk. 1977. *Chemistry The Central Science*. United States of America: Pearson Education, Inc.
- Brownell, L. E., dan Young, E. H. 1959. *Process Equipment Design*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Budiyono, T. 2011. *Hukum Perusahaan*. Salatiga: Griya Media.
- Cheremisinoff, P. N. 1995. *Handbook of Water and Wastewater Treatment Technology*. New York: Pollution Engineering.
- Chiu, Y., Cottrell, S. A., Horwarth, dan Kopkalli, H. 2010. *Multi-Stage Multi-Tube Shell and Tube Reactor*. US Patent No. 0307726 A1.
- Coulson, J., dan Jack, R. 2003. *Chemical Engineering 3th Edition Volume 6*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Doherty, M. F., dan Malon, M. F. 2001. *Conceptual Design and Distillation System*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Felder, R. M. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Fogler, H. S. 2006. *Element of Chemical Reaction Engineering 4th Edition*. Massachusetts: Pearson Education, Inc
- Frauenkron, M., Melder, J., Ruider, G., dan Höke, H. 2012. *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Harriott, P. 2003. *Chemical Reactor Design*. America: Marcel Dekker, Inc.
- Hill, C. G., dan Root, T. W. 2014. *Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design 2nd Edition*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.

- IARC. 1994. *Monographs on The Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Vol. 60. Lyon: IARC Press.
- Ichikawa, D. dan Sugiya, T. 2019. *Process for Producing Alkanolamine*. US Patent No. 0039997 A1.
- ICIS. 2004. *Ethanolamines Prices, Markets, and Analysis*. (Online). <https://www.icis.com/explore/commodities/chemicals/ethanolamines/>. (Diakses pada tanggal 28 Januari 2020).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Kingsley, dan Paul, J. 1997. *Tube and Shell Reactor System*. EP Patent No. 0792683 A2.
- Kispotta, N., dkk. 2014. Common Boiler Feed Water Treatment in the Industry. *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*. 1(6): 59-62.
- Kolmetz, K. 2013. *Distillation Column Selection and Sizing Engineering Design Guidelines*. Johor Bahru Malaysia: KLM Technology Group.
- Komariah, L. N., Ramdja, A. F., dan Leonard, N. 2009. Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi Untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri. *Jurnal Teknik Kimia*. 4(16): 19-27.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. United State of America: John Wiley and Sons.
- Li, S., Xin, F., dan Li, L. 2017. *Reaction Engineering 1th Edition*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Marvin, K. dan Billig, B. J. 2014. *Process for Making Ethanolamines*. US Patent No. 9120720 B2.
- Marvin, K. dan Billig, B. J. 2016. *Process for Making Ethanolamines*. US Patent No. 9227912 B2.
- Matches Engineering. 2017. *Equipment Cost Index*. (Online). <http://www.matches.com/equipcost.html>. (Diakses pada tanggal 25 April 2020).
- McCabe, W. L., Smith, J. C., & Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- McMillan, T. 1991. *Ethylene Oxide Derivatives*. California: SRI International.

- Morishita, F., Tojo, A., Takinami, T., dan Sugiyama, Y. 2004. *Process for Producing High Purity Trialkanolamine*. EP Patent No. 1443036 B2.
- Newnan, D. 1990. *Engineering Economic Analysis*. New York: Oxford University Press.
- Ogata, Y., Takashima, T., Dodo, O., dan Haramaki, H. 2003. *Shell and Tube Reactor*. US Patent No. 6582667 B1.
- Pellyuk, F. B. 2004. *Distillation Theory and It's Application to Optional Design of Separation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pemerintah Indonesia. 1970. *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1970 Tentang Keselamatan Kerja*. (Online). <https://jdih.esdm.go.id/sto-rage/document/uu-01-1970.pdf>. (Diakses pada tanggal 27 April 2020).
- Pemerintah Indonesia. 2007. *Undang-Undang Nomor 40 Tahun 2007 tentang Perseroan Terbatas*. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Pemerintah Indonesia. 2010. *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 8 tahun 2010*. (Online). https://jdih.kemnaker.go.id/data_puu/PER_-12_2011.pdf. (Diakses pada tanggal 28 April 2020).
- Pemerintah Indonesia. 2010. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 93 Tahun 2010*. (Online). <http://ditjenpp.kemenkumham.go.id/arsip/ln/2010-/pp93-2010bt.pdf>. (Diakses pada tanggal 6 Mei 2020).
- Pemerintah Kabupaten Karawang Prov. Jawa Barat Indonesia. 2019. *Peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karawang 2010-2030*. (Online). <https://karawangkab.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 30 April 2020).
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Chemical Engineers*. Singapore: McGraw Hill.
- Perry, R. H. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 7th Edition*. United States of America: The McGraw Hill Companies.
- Perry, R. H. 1999. *Perry's Chemical Engineers' Handbook 8th Edition*. United States of America: The McGraw Hill Companies.
- Phillips. 2020. *LED Bulb Specifications*. (Online). www.philips.co.in. (Diakses 25 April 2020).

- Pilling, M., Holden, dan Bruce, S. 2009. Choosing Trays and Packings for Distillation. *Chemical Engineering Progress*: 44-50.
- PT Web Marketing Indonesia. 2020. *Harga Tanah*. (Online). <https://www.rumah-123.com/jual/karawang/karawang-barat/tanah/>. (Diakses pada tanggal 26 April 2020).
- Ruminta. 2008. Model Temporal Curah Hujan dan Debit Sungai Citarum Berbasis. *Jurnal Sains Dirgantara*. 6(1): 22-36.
- Samsudin, A. M. 2014. *Tipe Kolom Pemisah Perancangan Alat Proses Chemical Engineering*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Santoso, B. dan Ismoro, D. S. 2011. *Permodelan Perancangan Pabrik Bentley Openplant Modeler*. Palembang: UNSRI Press.
- Setu, W. 2019. *Harga Natural Gas*. (Online). <https://www.merdeka.com/uang/pe-merintah-cari-cara-harga-gas-bumi-tarif-listrik-murah-genjot-industri-manufaktur.html>. (Diakses pada tanggal 25 April 2020).
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Standar Nasional Indonesia. 2000. *Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan SNI 03-6197-2000*. (Online). <http://iaeeta.org/wp-content/uploads/2017-/08/sni-03-6197-2000-Pencahayaan.pdf>. (Diakses pada tanggal 25 April 2020).
- The Dow Chemical Company. 2018. *Technical Data Sheet DOW Ethanolamines*. (Online). www.dowamines.com. (Diakses pada tanggal 3 September 2019).
- Tokopedia. 2020. *Harga AC*. (Online). <https://www.tokopedia.com/itteknikac/ac-split-sharp-1-5pk-ah-ap12uhl-low-watt-plasmacluster>. (Diakses pada tanggal 2 Mei 2020).
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Treyball, R.E. 1981. *Mass Transfer Operation*. Tokyo: Mc Graw Hill Book Co.

- Ulrich, G. D. 1984. *A Guide for Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley & Sons.
- United Nations Environment Programme Chemicals. 2000. *OECD High Production Volume Chemicals Programme Phase 3*. Geneva: Screening Information Data Set.
- US Energy Information. 2020. *Harga Diesel Fuel*. (Online). <https://www.eia.gov/-petroleum/gasdiesel/>. (Diakses pada tanggal 25 April 2020).
- Vubrandt, F. C. dan Dryden C. E. 1949. *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw Hill Education.