

SKRIPSI

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN METANOL KAPASITAS 500.000 TON/TAHUN

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



M. Iqbal Septiady

NIM. 03031181419029

Hersya Agung Perdana

NIM. 03031281419091

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2018

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN
METANOL KAPASITAS PRODUKSI
500.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana

Oleh:

M. Iqbal Septiady 03031181419029
Qidran Alifardin Nurdi 03031281419091

Indralaya, Juli 2018

Pembimbing,



Novia, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197311052000032003

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 Metanol Kapasitas Produksi 500.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan **M. Iqbal Septiady dan Qidran Alifardin Nurdi** di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 25 Juli 2018.

Palembang, Juli 2018

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Ir. H. Abdullah Saleh M.S., M.Eng.

NIP. 195304261984031001

(*Abdullah*)

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

NIP. 195602241984032002

(*Siti Miskah*)

3. Hj. Tuty Emilia Agustina S.T., M.T. Ph.D.

NIP. 197208092000032001

(*AP*)

4. Dr. Hj. Leily Nurul Komariah, S.t., M.T.

NIP. 197503261999032002

(*Leily Nurul Komariah*)

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : M. Iqbal Septiady
NIM : 03031181419029
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metanol Kapasitas
Produksi 500.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Qidran Alifardin Nurdi** 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.

Indralaya, Agustus 2018



M. Iqbal Septiady
NIM. 03031181419029



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Qidran Alifardin Nurdi
NIM : 03031281419091
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metanol Kapasitas
Produksi 500.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/ Jurusan Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **M. Iqbal Septiady** 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.

Indralaya, Agustus 2018



Qidran Alifardin Nurdi
NIM. 03031281419091



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metanol Kapasitas 500.000 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.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin dalam menyelesaikan tugas akhir ini walaupun terdapat banyak kekurangan karena keterbatasan pengetahuan dan kemampuan. Penulis berharap agar laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Indralaya, Juli 2018

Penulis

INTISARI

PRA RENCANA PABRIK METANOL KAPASITAS 500.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi, Juli 2018

M. Iqbal Septiady dan Qidran Alifardin Nurdi;

Dibimbing oleh Novia, S.T., M.T., Ph.D.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

IX + 497 halaman, 6 tabel, 5 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN

Pabrik pembuatan metanol dari karbon dioksida dan hidrogen dengan kapasitas 500.000 ton/tahun direncanakan berdiri pada tahun 2023 di Cilegon, Provinsi Banten yang diperkirakan memiliki luas area sebesar 26 Ha. Proses pembuatan metanol dengan jenis reaktor *multitubular fixed bed* (R-01) dengan katalis $\text{CuO/ZnO/Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$. Kondisi operasi pembuatan metanol adalah 250°C dan tekanan 50 bar.

Pabrik pembuatan metanol ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang pimpinannya adalah Direktur Utama. Sistem organisasi perusahaan ini adalah *line and staff* dengan jumlah karyawan sebanyak 684 orang. Hasil dari analisa ekonomi Pra-rencana Pabrik Pembuatan Metanol sebagai berikut:

a. <i>Total Capital Investment</i>	= US\$437.991.576,418
b. <i>Selling Price per Year</i>	= US\$540.593.489,992
c. <i>Total Production Cost</i>	= US\$247.220.202,091
d. <i>Annual Cash Flow</i>	= US\$248.990.799,249
e. <i>Pay Out time</i>	= 1,86 tahun
f. <i>Rate of Return</i>	= 50,2367%
g. <i>Discounted Cash Flow</i>	= 56,54%
h. <i>Break Even Point</i>	= 30,3406%
i. <i>Service Life</i>	= 11 tahun


Kata kunci : Pabrik, metanol, kondisi operasi, analisa ekonomi

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

Indralaya, Juli 2018

Disetujui oleh,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir


Novia, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197311052000032003

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 selama ini telah membantu penulis dalam bentuk perhatian, kasih sayang, semangat, serta doa yang tak henti-hentinya mengalir 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 Dr. Novia, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan, dorongan, dan semangat kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
6. Prof. Anton Alexandru Kiss selaku pemilik paten yang memberi data dan bantuan selama pengerjaan tugas akhir, serta Dr. Park dan Dr. Wang yang telah memberikan bantuan data untuk pengerjaan tugas akhir.
7. Seluruh dosen dan Staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
8. 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, 17 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN INTEGRITAS	iv
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan	2
1.3 Macam Proses Pembuatan	3
1.4 Sifat Fisika	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK	
2.1 Alasan Pendirian Pabrik	9
2.2 Pemilihan Kapasitas	10
2.3 Pemilihan Bahan Baku	11
2.4 Uraian Proses	12
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	
3.1 Pemilihan Lokasi	15
3.2 Luas Area	17
3.3 Tata Letak Pabrik	17
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	
4.1 Neraca Massa	21
4.2 Neraca Panas	26

BAB V UTILITAS

5.1	Unit Pengadaan Air	33
5.2	Unit Pengadaan Steam	36
5.3	Unit Pengadaan Tenaga Listrik.....	36
5.4	Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	38
5.5	Unit Pengadaan Refrigeran.....	40

BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN

6.1	Kompresor-01 (K-01).....	42
6.2	Kompresor-02 (K-02).....	43
6.3	Kompresor-03 (K-03).....	44
6.4	Kompresor-04(K-04).....	45
6.5	Heat Exchanger-01 (HE-01).....	46
6.6	Heater-01 (H-01)	47
6.7	Heater-02 (H-02)	48
6.8	Heater-03 (H-03)	49
6.9	Reaktor-01 (R-01)	50
6.10	Expander-01 (E-01).....	51
6.11	Expander-02 (E-02).....	52
6.12	Partial Condenser-01 (PC-01)	53
6.13	Partial Condenser-02 (PC-02)	54
6.14	Flash Drum-01 (FD-01).....	55
6.15	Flash Drum-02 (FD-02).....	56
6.16	Pressure Swing Adsorber-01 (PSA-01).....	57
6.17	Stripper-01 (STP-01).....	58
6.18	Cooler (C-01)	59
6.19	Kolom Distilasi-01 (KD-01)	60
6.20	Reboiler-01 (RB-01).....	61
6.21	Pompa-01 (P-01)	62
6.22	Pompa-02 (P-02)	63
6.23	Pompa-03 (P-03)	64
6.24	Tangki-01 (T-01).....	65

6.25 Tangki-02 (T-02).....	66
6.26 Tangki-03 (T-03).....	67
6.27 Tangki-04 (T-05).....	68
6.28 Tangki-05 (T-04).....	69
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	
7.1 Bentuk Perusahaan.....	70
7.2 Struktur Organisasi.....	71
7.3 Tugas dan Wewenang.....	72
7.4 Sistem Kerja.....	76
7.5 Penentuan Jumlah Buruh.....	77
BAB VIII ANALISA EKONOMI	
8.1 Keuntungan (Profitability).....	84
8.2 Lama Waktu Pengembalian Modal.....	85
8.3 Total Modal Akhir.....	87
8.4 Laju Pengembalian Modal.....	89
8.5 Break Even Point.....	90
BAB IX KESIMPULAN	93
DAFTAR PUSTAKA	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1 Perbandingan Proses Pembuatan Metanol	5
Tabel 2.1 Data Kebutuhan Metanol di Indonesia.....	10
Tabel 7.1 Pembagian Jam Kerja Pekerja Shift	77
Tabel 7.2 Perincian Jumlah Karyawan.....	79
Tabel 8.1 Angsuran Pengembalian Modal	86
Tabel 8.2 Kesimpulan Analisa Ekonomi	92

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Kebutuhan Metanol di Indonesia pada Tahun 2012-2017	10
Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik.....	18
Gambar 3.2. Tata Letak Peralatan	20
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	82
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	91

DAFTAR NOTASI

1. COOLER, HEAT EXCHANGER, HEATER, PARTIAL CONDENSER, REBOILER

A_o	: Area perpindahan panas, m^2
A_s	: Area <i>cross flow</i> , m^2
A_b	: Area <i>clearance</i> antara <i>bundle</i> dan <i>shell</i> , m^2
A_{sb}	: Area <i>clearance</i> antara <i>shell</i> dan <i>baffle</i> , m^2
A_{tb}	: Area <i>clearance</i> antara <i>tube</i> dan <i>baffle</i> , m^2
A_L	: Area <i>leakage</i> , m^2
a''	: <i>External surface area</i> , m^2
β_L	: Faktor <i>leakage</i> , tak berdimensi
B_c	: <i>Baffle cut</i> , %
B_{CH}	: <i>Baffle Cut Height</i> , m
D_b	: Diameter <i>bundle</i> , m
D_{rb}	: Diameter <i>reboiler</i> , m
D_s	: Diameter <i>shell</i> , m
σ	: Tegangan permukaan N/m^2
F_b	: <i>Bypass correction</i>
F_n	: <i>Tube row correction</i>
F_w	: <i>Window correction</i>
F_L	: <i>Leakage correction</i>
F'_b	: <i>Bypass correction</i> untuk <i>pressure drop</i>
F'_L	: <i>Leakage correction</i> untuk <i>pressure drop</i>
g	: Percepatan gravitasi lokal
G_s	: Laju alir massa <i>shell</i> , $kg/(m^2.s)$
H_b	: Jarak <i>baffle chord</i> ke <i>tube bundle</i> , m
H_f	: Tinggi <i>freeboard</i> , m
$HBTT$: <i>Height Between Baffle Tips</i> , m
h_i	: Koefisien perpindahan panas bagian dalam, $W/m^2.^{\circ}C$
h_o	: Koefisien perpindahan panas bagian luar, $W/m^2.^{\circ}C$
h_{oc}	: Koefisien perpindahan panas ideal bagian luar, $W/m^2.^{\circ}C$

j_f	: Faktor friksi
j_H	: Faktor perpindahan panas
k	: Konduktivitas termal, W/m.°C
l_b	: <i>Baffle spacing</i> , m
L	: Panjang <i>tube</i> pipa, m
λ	: Panas laten, kJ/kg
LMTD	: <i>Logaritmic Mean Temperature Difference</i> , °C
N	: Jumlah <i>Baffle</i>
N_c	: Jumlah <i>tube</i> di area <i>cross flow</i>
N_{cv}	: Jumlah konstiksi
N_p	: Jumlah <i>pass</i>
N_t	: Jumlah <i>tube</i>
N_w	: Jumlah <i>tube</i> di area <i>window</i>
N_{wu}	: Jumlah restriksi <i>cross flow</i> di area <i>window</i>
N_u	: Bilangan Nusselt, tak berdimensi
P_T	: <i>Tube pitch</i> , m
P'_T	: <i>Vertical tube pitch</i> , m
ΔP	: Penurunan tekanan total <i>shell</i> , bar
ΔP_c	: Penurunan tekanan <i>cross flow area</i> pada <i>shell</i> , bar
ΔP_e	: Penurunan tekanan <i>end area</i> pada <i>shell</i> , bar
ΔP_i	: Penurunan tekanan ideal pada <i>shell</i> , bar
ΔP_t	: Penurunan tekanan pada <i>tube</i> , bar
ΔP_w	: Penurunan tekanan <i>window area</i> pada <i>shell</i> , bar
ID	: <i>Inside</i> diameter, m
OD	: <i>Outside</i> diameter, m
P_r	: Bilangan Prandtl, tak berdimensi
q	: Fluks panas, W/m ²
q_{cb}	: Fluks panas maksimal, W/m ²
Q	: Beban panas <i>heat exchanger</i> , W
R_a	: Rasio area <i>window</i> terhadap area total
R'_a	: Rasio area <i>bundle cross-section</i> di area <i>window</i> terhadap total
R_D	: <i>Fouling</i> total, m ² .°C/W

R_{DI}	: <i>Fouling</i> dalam, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
R_{DO}	: <i>Fouling</i> luar, $m^2 \cdot ^\circ C/W$
Re	: Bilangan Reynold, tak berdimensi
S	: Specific gravity
T_1, T_2	: Temperatur fluida panas inlet, outlet, $^\circ C$
t_1, t_2	: Temperatur fluida dingin inlet, outlet, $^\circ C$
θ_b	: Sudut <i>baffle chord</i> , rad
U	: <i>Overall coefficient</i> , $W/m^2 \cdot ^\circ C$
U_C, U_o	: <i>Clean overall coefficient</i> , <i>Calculated overall coefficient</i> , $W/m^2 \cdot ^\circ C$
u_T	: Kecepatan alir di <i>tube</i> , m/s
u_S	: Kecepatan alir di <i>shell</i> , m/s
u_v	: Kecepatan alir <i>vapour</i> , m/s
u_w	: Kecepatan alir <i>window</i> , m/s
u_z	: Kecepatan alir geometrik rata-rata, m/s
μ	: Viskositas, Ns/m^2

2. FLASH DRUM

A	: Area, m^2
a	: Luas permukaan <i>demister</i> , m^2/m^3
D, D_v	: Diameter, m
D_d	: Diameter target, m
D_W	: Diameter <i>wire demister</i> , m
F_{DP}	: Faktor <i>pressure drop</i>
H	: Tinggi demister, m
H_V	: Tinggi <i>vessel</i> , m
H_{LN}	: Jarak <i>top liquid</i> ke <i>nozzle</i> , m
H_{TN}	: Jarak <i>top vessel</i> ke <i>nozzle</i> , m
H_L	: Tinggi <i>liquid</i> , m
K	: Faktor kecepatan
L_v	: Panjang <i>vessel</i> horizontal, m
N_S	: Bilangan separasi
Q_G, Q_v	: Laju alir uap, m^3/jam
Q_L	: Laju alir liquid, m^3/jam

t	: Waktu tinggal, s
u	: Kecepatan minimum, m/s
V_S	: Volume <i>shell</i> , m ³
V_H	: Volume <i>head</i> , m ³
V_V	: Volume <i>vessel</i> , m ³
W_G	: Laju alir uap, kg/jam
W_L	: Laju alir liquid, kg/jam
ρ_G	: Densitas uap, kg/m ³
ρ_L	: Densitas liquid, kg/m ³
ρ_w	: Densitas demister, kg/m ³
η_w	: <i>Fractional collection</i>

3. KOLOM DESTILASI

P	: Tekanan, atm
T	: Temperatur, °C
α	: Relatif volatilitas
N_m	: Stage minimum
L/D	: Refluks
N	: Stage/tray
m	: <i>Rectifying section</i>
p	: <i>Stripping section</i>
F_{LV}	: <i>Liquid-vapor flow factor</i>
U_f	: Kecepatan <i>flooding</i> , m/s
U_v	: <i>Volumetric flowrate</i> , m ³ /s
A_n	: <i>Net area</i> , m ²
A_c	: <i>Cross section/luas area kolom</i> , m ²
D_c	: Diameter kolom, m
A_d	: <i>Downcomer area</i> , m ²
A_a	: <i>Active area</i> , m ²
l_w	: <i>Weir length</i> , m
A_h	: <i>Hole area</i> , m ²
h_w	: <i>Weir height</i> , mm

dh	: Hole diameter, mm
Lm	: Liquid rate, kg/det
how	: Weir liquid crest, mm Liquid
Uh	: Minimum design vapor velocity, m/s
Co	: Orifice coefficient
hd	: Dry plate drop, mm Liquid
hr	: Residual Head, mm Liquid
ht	: Total pressure drop, mm Liquid
hap	: Downcomer pressure loss, mm
Aap	: Area under apron, m ²
Hdc	: Head loss in the downcomer, mm
hb	: Backup di Downcomer, m
tr	: Check resident time, s
θ	: Sudut subintended antara pinggir plate dengan unperforated strip
Lm	: Mean length, unperforated edge strips, m
Aup	: Area of unperforated edge strip, m ²
Lcz	: Mean length of calming zone, m
Acz	: Area of calming zone, m ²
Ap	: Total area perforated, Ap
Aoh	: Area untuk 1 hole, m ²
t	: Tebal dinding, cm
D	: Diameter tanki, m
r	: Jari-jari tanki, m
S	: Tekanan kerja yang diizinkan, atm
Cc	: Korosi yang diizinkan, m
Ej	: Efisiensi pengelasan
OD	: Diameter luar, m
ID	: Diameter dalam, m
E _{mV}	: Efisiensi tray, %
ρ	: Densitas, kg/m ³
μ	: Viskositas, N.s/m ²
FA	: Fractional Area

He : Tinggi tutup elipsoidal, m
 Ht : Tinggi *vessel*, m

4. KOMPRESOR

C : Kapasitas kompresor, m³/menit
 HP : Kerja, hp
 k : Eksponen isentropik
 N_s : Jumlah *stage*
 n : Eksponen politropik
 q_{fm} : Umpan volumetrik, ft³/menit
 P₁ : Tekanan masuk, bar
 P₂ : Tekanan keluar, bar
 T₁ : Temperatur masuk, °C
 T₂ : Temperatur masuk, °C
 W : Laju alir massa, kg/jam
 η_s : Efisiensi isentropik, %
 η_p : Efisiensi politropik, %

5. POMPA

A : Area alir pipa, in²
 D_{opt} : Diameter optimum pipa, in
 f : Faktor friksi
 g : Percepatan gravitasi, ft/s²
 g_c : Konstanta percepatan gravitasi, ft/s²
 H_f : Total friksi, ft
 H_{fs} : Friksi pada permukaan pipa, ft
 H_{fc} : Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
 H_{fe} : Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft
 H_{ff} : Friksi karena *fitting* dan *valve*, ft
 H_d, H_s : *Head Discharge, suction*, ft
 ID : *Inside* diameter, in
 OD : *Outside* diameter, in
 K_c, K_e : *Contaction, ekspansion contraction*, ft
 L : Panjang pipa, m

L_e : Panjang ekuivalen pipa, m
 $NPSH$: *Net Positive Suction Head*, ft . lbf/ lb
 P_{uap} : Tekanan uap, psi
 Q_f : Laju alir volumetrik, ft³/s
 Re : Reynold Number, dimensionless
 V_s : *Suction* velocity, ft/s
 V_d : *Discharge* velocity, ft/s
 BHP : *Brake Horse Power*, HP
 MHP : *Motor Horse Power*, HP
 ΔP : Differential *pressure*, psi
 ε : *Equivalent roughness*, ft
 η : Efisiensi pompa
 μ : Viskositas, kg/m.hr
 ρ : Densitas, kg/m³

6. PRESSURE SWING ADSORBER

D : Diameter, m
 H : Tinggi, m
 ε : Porositas
 ε_p : Porositas luar
 f : *Fanning friction factor*
 Re : Bilangan Reynold, tak berdimensi
 x : Diameter adsorben, m
 V_v : Volume *vessel*, m³
 t : Siklus, s
 u : Kecepatan superfisial, m/s
 Q_A : Laju alir adsorbat, m³/s
 Q_f : Laju alir total, m³/s
 ρ_p : Densitas partikel kering, kg/m³
 ρ_f : Densitas fluida, kg/m³
 m : Jumlah adsorben minimal, kg
 $V_{p,wet}$: Volume *packing* basah, m³
 $V_{p,dry}$: Volume *packing* kering, m³

V_{total} : Volume total, m^3

$-\Delta P/h$: *Pressure drop over bed*

7. REAKTOR

A_{TCS} : *Tube cross sectional area*, m^2

A_{T} : *Tube area*, m^2

a'' : *Flow area*, m^2

C : *Corrosion maksimum*, m

C_{AO} : Konsentrasi reaktan mula-mula, kmol/m^3

$-dP/dL$: *Pressure drop across tube*, Pa/m

D_{S} : *Diameter shell*, m

D_{b} : *Diameter bundle*, m

D_{sb} : *Diameter clearance*, m

d_{P} : *Diameter katalis*, m

E_{J} : *Joint efisiensi*

E : *Energi aktivasi*

F_{AO} : *Jumlah feed mula-mula*, kmol/jam

G : *Tube side mass velocity*, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

Head : *Tinggi Head*, m

ID : *Diameter dalam*, m

OD : *Diameter luar*, m

k : *Konstanta kecepatan reaksi*, $\text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{s}$

K : *Konstanta Boltzmann* = $1,30 \times 10^{-26} \text{ kJ}/\text{K}$

L : *Tinggi reaktor*, m

L_{T} : *Tinggi tube*, m

M_{A} : *Berat molekul A*

M_{B} : *Berat molekul B*

N : *Bilangan avogadro* = $6,203 \cdot 10^{23} \text{ molekul}/\text{mol}$

N_{u} : *Bilangan Nusselt*, tak berdimensi

N_{T} : *Jumlah tube*

P : *Tekanan desain*, bar

P_{r} : *Bilangan Prandtl*, tak berdimensi

Q_{f} : *Volumetrik flowrate*, m^3/jam

r_i	: Jari-jari <i>Vessel</i> , m
R	: Konstanta umum gas = 8,314 kJ/kmol.K
Re	: Bilangan Reynold, tak berdimensi
S	: <i>Working stress Allowable</i> , N/m ²
t	: Tebal dinding tanki, m
T	: Temperatur operasi, K
V_k	: Volume katalis, m ³
V_R	: Volume reaktor, m ³
V_T	: Volume <i>tube</i> , m ³
V_t	: Volume tanki, m ³
v_T	: Kecepatan linier, m/s
W	: Laju alir massa, kg/jam
W_k	: Massa katalis, kg
X	: Konversi
μ	: Viskositas, kg/m.hr
ρ	: Densitas, kg/m ³
t	: Waktu tinggal, s
ϕ	: porositas katalis
σ_A	: Diameter molekul A, cm
σ_B	: Diameter molekul B, cm

8. STRIPPER

A_a	: Area aktif, m ²
A_d	: Area <i>downspout</i> , m ²
A_{da}	: Area <i>downspout apron</i> , m ²
A_n	: Area <i>flooding</i> , m ²
A_o	: Area lubang, m ²
A_t	: Area <i>tray</i> , m ²
C_F	: Konstanta <i>flooding</i>
C_o	: Konstanta <i>orifice</i>
d_o	: Diameter lubang, m
E	: <i>Entrainment</i>
E_0	: Efisiensi pelat, %

E/D	: Rasio ke halusan pipa per diameter
f	: <i>Fanning friction factor</i>
h_1	: <i>Weir crest</i> , m
h_2	: <i>Pressure loss at liquid entrance</i> , m
h_3	: <i>Backup in downspout</i> , m
h_D	: <i>Dry pressure drop</i> , m
h_{Flooding}	: <i>Flooding pressure drop</i> , m
h_G	: <i>Gas pressure drop</i> , m
h_L	: <i>Hydraulic head</i> , m
h_R	: <i>Residual Pressure Drop</i> , m
h_w	: <i>Weir height</i> , m
l	: Tebal pelat, m
L	: Tinggi <i>stripper</i> , m
L_o	: Area per lubang, m ²
M	: Berat molekul, kg/kmol
m	: Laju alir massa, kg/jam
N_o	: Jumlah lubang
N_p	: Jumlah <i>equilibrium tray</i>
N_{TS}	: Jumlah <i>tray nyata</i>
p'	: Sudu lubang, m
Q	: Umpan gas, m ³ /s
q	: Umpan liquid, m ³ /s
Re_o	: Bilangan Reynold di lubang, tak berdimensi
t	: Jarak antar <i>tray</i> , m
T	: Diameter <i>tray</i> , m
V_F	: Kecepatan <i>flooding</i> , m/s
V_o	: Kecepatan di lubang, m/s
V_{ow}	: Kecepatan <i>weeping</i> , m/s
V_a	: Kecepatan di <i>area aktif</i> , m/s
W	: Panjang <i>weir</i> , m
W_{eff}	: <i>Weir effective</i> , m
z	: <i>Mean weir</i> , m

- ρ : Densitas, kg/m^3
 μ : Viskositas, kg/m.s
 σ : Tegangan permukaan, N/m

9. TANKI

- C : *Allowable Corrosion*, m
 D : Diameter tanki, m
 E : *Joint* efisiensi
 h : Tinggi *Head*, m
 H : Tinggi silinder tanki, m
 H_t : Tinggi total tanki, m
 P : Tekanan, atm
 S : *Allowable* stress, psi
 t : Tebal dinding tanki, m
 V_h : Volume *Head*, m^3
 V_s : Volume silinder, m^3
 V_t : Volume tanki, m^3
 W : Laju alir massa, kg/jam
 ρ : Densitas, kg/m^3

9. Dimensionless Number

- N_{Re} : Reynold Number
 Sc : Schmidt
 j_H : Faktor perpindahan panas
 f : Friction *factor*

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Perhitungan Neraca Massa
- Lampiran 2.** Perhitungan Neraca Panas
- Lampiran 3.** Perhitungan Spesifikasi Peralatan
- Lampiran 4.** Perhitungan Ekonomi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Pendahuluan

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi disertai dengan kemajuan sektor industri telah menuntut semua negara ke arah industrialisasi. Indonesia sebagai negara berkembang banyak melakukan pembangunan di segala bidang. Sampai saat ini pembangunan sektor industri mengalami peningkatan, salah satunya adalah pembangunan sektor industri kimia. Namun ketergantungan impor luar negeri masih lebih besar dibandingkan eksportnya. Indonesia masih banyak mengimpor bahan baku atau produk industri kimia dari luar negeri.

Metanol merupakan senyawa alkohol yang paling sederhana, yang dapat disusun dari tiga unsur kimia yaitu unsur oksigen, karbon, dan hidrogen dengan rumus kimia CH_3OH . Di dunia metanol merupakan bahan kimia yang diproduksi paling besar digunakan di industri kimia untuk membuat senyawa kimia lainnya serta untuk penggunaan energi. Metanol yang digunakan sebagai bahan baku dalam produksi formaldehida, asam asetat, MTBE (*Methyl Terbutyl Ether*), DME (*Dymethyl Ether*), biodisel, serta digunakan untuk pelarut, bahan additif bagi industri etanol, bahan perekat, bahan bakar, dan lainnya.

Salah satu industri yang berpeluang dikembangkan di Indonesia adalah industri PT Indo Asidatama, PT Arjuna Utama Kimia, PT Uforin Prajen *Adhesive*, PT Sabak Indah, PT Kurnia Kapuas dan lainnya yang menggunakan metanol sebagai bahan baku untuk produksi. Pengembangan industri tersebut merupakan salah satu cara untuk mengurangi impor sehingga diharapkan industri kimia dalam negeri dapat mengalami peningkatan. Semakin berkembang industri tersebut maka kebutuhan metanol juga akan semakin meningkat.

Peningkatan produksi metanol dapat dicapai dengan mendirikan pabrik metanol di Indonesia. PT. Medco Metanol Bunyu dan PT. Kaltim Metanol Industri merupakan industri yang memproduksi metanol di Indonesia. Kebutuhan akan metanol yang tinggi, harus diimbangi dengan banyaknya produksi metanol

di Indonesia, maka dari itu dilakukan rancangan pabrik metanol untuk memenuhi kebutuhan metanol.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Pada umumnya metanol dapat diproduksi dengan hidrogenasi karbon monoksida ataupun karbon dioksida dengan bantuan katalis Gas CO dan H₂ dapat dihasilkan dari proses *reforming* gas alam maupun dari gasifikasi batubara, sementara gas CO₂ dapat dihasilkan dari reaksi *water-gas shift*. Proses produksi metanol dari *syngas* dilakukan dalam tiga tahap, yaitu persiapan syngas sebagai umpan, reaksi sintesis metanol, dan pemurnian metanol sebagai produk. Reaksi sintesis metanol merupakan reaksi katalitik.

Pada sintesis metanol, jenis katalis yang digunakan mempengaruhi kondisi operasi sintesis metanol, karena masing-masing katalis memiliki aktivitas katalitik pada kondisi tertentu. Katalis yang umum digunakan pada proses pembuatan metanol adalah senyawa Cu, ZnO, Al₂O₃, dan Cr₂O₃. Berdasarkan penelitian terbaru, metanol dapat diproduksi dari hidrogenasi karbon monoksida (CO), hidrogenasi karbondioksida (CO₂), dan oksidasi parsial metana (CH₄). Hingga saat ini, produksi metanol secara komersial didominasi dari proses hidrogenasi CO. Sedangkan proses yang lain dalam tahap pengembangan.

PT. Pertamina di Pulau Bunyu menjadi industri pertama di Indonesia yang mendirikan pabrik metanol pada tahun 1982. Sebelumnya, pada tahun 1661 oleh Robert Boyle, metanol yang ditemukan merupakan metanol dalam bentuk substansi yang netral, namun penemuan tersebut tidak diakui oleh Dumas Poligot hingga tahun 1834. Pada tahun 1923, ahli kimia Jerman Matthias Pier yang bekerja untuk BASF dengan mengembangkan cara mengubah gas sintesa menjadi metanol (*methyl alcohol*). Proses ini menggunakan katalis Zn-Cr (seng kromat) dengan kondisi operasi tekanan sekitar 300-1000 atm (304–1014 bars) dengan temperatur sekitar 400°C. Selain PT. Pertamina, produsen metanol di Indonesia yaitu PT. Kaltim Metanol Industri.

Krisis minyak bumi dari tahun 1970-an menyebabkan penggunaan metanol sebagai bahan bakar mulai mendapat perhatian, dikarenakan metanol mudah tersedia dan lebih murah. Di negara-negara maju, metanol digunakan

sebagai bahan bakar kendaraan *fuel cell*, didukung dengan penelitian dan pengembangan *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) yang akan dijadikan sebagai mesin kendaraan bermotor. Sedangkan untuk beberapa produsen mobil seperti Ford, Mazda, BMW, Nissan, dan Toyota telah berhasil membuat prototip mobil listrik yang disebut *Fuel Cell Vehicles* (FCVs) dengan bahan bakar metanol.

1.3. Macam Proses Pembuatan

1. Proses Lurgi

Gas alam dilewatkan dalam proses desulfurisasi untuk menghilangkan kontaminan sulfur. Proses ini berlangsung kira-kira pada suhu 350-380⁰C dalam reaktor desulfurisasi. Kemudian gas dikompresi dan dialirkan ke dalam unit *reformer*, dalam hal ini Lurgi *reformer* dan *autothermal reformer*. Dalam unit *reformer* gas dicampur dengan uap panas dan diubah menjadi gas H₂, CO₂, dan CO dengan tiga macam langkah pembentukan. Gas hasil kemudian didinginkan dengan serangkaian alat penukar panas. Panas yang dimiliki oleh gas hasil digunakan untuk membuat uap panas. Pemanas awal gas alam, pemanas air umpan masuk *boiler* dan alat *reboiler* di kolom distilasi. Gas hasil tersebut kembali dikompresi hingga 80-90 bar tergantung pada optimasi proses yang ingin dicapai. Setelah dikompresi gas hasil kemudian dikirim ke dalam reaktor pembentukan metanol. Reaktor yang digunakan ialah Lurgi *tubular* reaktor (proses isothermal) yang mengubah gas hasil menjadi *crude methanol*. *Crude methanol* hasil kemudian dikirim ke dalam unit kolom distilasi untuk menghasilkan kemurnian metanol yang dihasilkan.

2. Proses ICI Low Pressure Methanol (LPM)

Umpan gas alam dipanaskan dan dikompresi lalu kemudian didesulfurisasi sebelum dimasukkan ke dalam *saturator*. Setelah didesulfurisasi gas alam kemudian di masukkan ke dalam *saturator*, di dalam *saturator* gas alam dikontakkan dengan air panas. Pada proses ini sekitar 90% kebutuhan *steam* untuk proses dapat dicapai. Selanjutnya gas alam kemudian dipanaskan ulang dan ditambahkan kekurangan *steam* yang dibutuhkan untuk proses. Campuran gas alam dengan uap panas ini kemudian dikirim kedalam *methanol synthesys*

reformer (MSR). Di dalam MSR ini gas alam dirubah menjadi H_2, CO_2, CO . Gas hasil ini kemudian didinginkan dengan serangkaian alat penukar panas. Panas yang dihasilkan digunakan untuk memanaskan air umpan masuk *boiler*, menghasilkan uap panas dan kebutuhan yang lain. Lalu gas hasil ini dikirim ke dalam *methanol converter* (*ICI tube cooled reactor*). Reaksi yang berlangsung bertekanan 50 atm dan suhu $270^\circ C$ dengan bantuan katalis dalam reaktor ini menghasilkan *crude methanol* dan bahan lain, hasil dari reaktor kemudian dipisahkan dengan separator, gas yang masih belum terkonversi dipakai sebagai bahan bakar MSR. *Crude methanol* yang sudah dipisahkan dari bahan lain kemudian dikirim ke unit distilasi fraksionasi untuk menghasilkan metanol yang lebih murni.

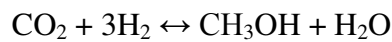
3. Proses ICI Leading Concept Methanol (LCM)

Umpan masuk gas alam pertama-tama di desulfurisasi sebelum memasuki *saturator*. Dalam *saturator* gas alam dikontakkan dengan air panas yang dipanaskan oleh gas hasil yang keluar dari *Advanced Gas Heated Reformer* (AGHR). Pengaturan sirkuit *saturator* ini memungkinkan untuk mendapatkan sebagian uap panas yang dibutuhkan untuk proses dan mengurangi sistem uap panas dari *boiler*. Tetapi berbagai macam modifikasi proses dapat dilakukan tergantung dari pemilihan sistem *reformer* dan *converter*. Campuran gas alam dan uap panas ini kemudian dipanaskan sebelum memasuki AGHR, dalam AGHR gas campuran memasuki tabung-tabung yang berisi katalis yang dipanaskan oleh gas hasil dari *reformer* kedua. Sekitar 25% gas alam terkonversi dalam AGHR menjadi CO_2 . Setelah keluar dari AGHR gas alam memasuki *reformer* kedua kemudian ditambahkan semburan oksigen yang merubah gas alam dengan bantuan katalis menjadi gas hasil yaitu $H_2, CO_2, dan CO$. Gas hasil ini suhunya berkisar $1000^\circ C$ dan hanya mengandung sangat sedikit metana yang tidak terkonversi. Aliran gas hasil lalu dilewatkan melalui *shell side* dari AGHR dan serangkaian alat penukar panas untuk memaksimalkan penggunaan panas. Lalu gas dikompresi sehingga 80 bar. Gas yang telah dikompresi kemudian dikirim ke *methanol converter* untuk mengubahnya menjadi metanol dan air. Metanol hasil kemudian dikirim ke unit distilasi fraksionasi untuk memurnikannya.

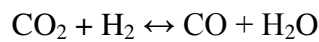
4. Proses Akzonobel

Proses Akzonobel merupakan proses pembuatan metanol dengan Karbon Dioksida dan Hidrogen sebagai bahan bakunya. Proses ini menggunakan reaktor Multi Tubular Fixed Bed Reaktor. Umpan masuk dalam reaktor dengan kondisi tekanan 50 bar pada suhu 250° C. Katalis yang digunakan adalah katalis komposit (ZrO/ ZnO/ Al₂O₃/ CuO). Reaksi untuk proses ini adalah:

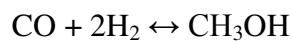
1. Reaksi Hidrogenasi Karbon Dioksida



2. Reaksi *Reverse Water-Gas Shift* (RWGS)



3. Reaksi Hidrogenasi Karbon Monoksida



Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan Metanol

Proses	Bahan Baku	Kondisi Operasi	Reaktor
Lurgi	Gas Alam	P = 80-90 bar T = 350-380°C	Lurgi <i>Tubular</i>
ICI <i>Low Pressure Methanol</i>	Gas Alam	P = 50 atm T = 270°C	ICI <i>Tube Cooled Reactor</i>
ICI <i>Leading Concept Methanol</i>	Gas Alam	P = 80 bar	<i>Methanol Converter</i>
Proses Akzonobel	CO ₂ dan H ₂	P = 50 bar T = 250°C	<i>Multi Tubular Fixed Bed Reactor</i>

1.4. Sifat Fisika

1.4.1. Sifat Fisika Bahan Baku

1. Hidrogen

Rumus molekul	: H ₂
Berat molekul	: 2,015 kg/kmol
Wujud	: Gas pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tak berwarna
SG	: 0,0709
Titik didih	: 252,7°C
Titik leleh	: -259,1°C
Temperatur kritis	: 33,2°C
Tekanan kritis	: 12,8 atm
Densitas (g/cm ³)	: 0,031

2. Karbon Dioksida

Rumus molekul	: CO ₂
Berat molekul	: 44,1 kg/kmol
Wujud	: Gas pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tak berwarna
SG	: 1,56
Titik didih	: -78°C
Titik leleh	: -56,5°C
Temperatur kritis	: 304,20°C
Tekanan kritis	: 72,9 atm
Densitas (g/cm ³)	: 0,464

1.4.2. Sifat Fisika Produk

1. Metanol

Rumus molekul	: CH ₃ OH
Berat molekul	: 32,015 kg/kmol
Wujud	: Cair pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tak berwarna
SG	: 0,792

Titik didih	: 64,7°C
Titik leleh	: -97,9°C
Temperatur kritis	: 513,20°C
Tekanan kritis	: 78,5 atm
Densitas (g/cm ³)	: 0,272
2. Air	
Rumus molekul	: H ₂ O
Berat molekul	: 18,015 gr/mol
Wujud	: Cair pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tidak berwarna
Spgr	: 1
Titik didih	: 100°C
Titik beku	: 0°C
Titik leleh	: 0°C
Temperatur kritis	: 374,13°C
Tekanan kritis	: 220,55 bar
3. Karbon Monoksida	
Rumus molekul	: CO
Berat molekul	: 28,01 gr/mol
Wujud	: Gas pada 25°C dan 1,013 bar
Warna	: Tidak berwarna
SG	: 0.986
Titik didih	: -192°C
Titik beku	: -205°C
Titik leleh	: -207°C
Temperatur kritis	: -140,08°C
Tekanan kritis	: 34,99 bar
Densitas (g/cm ³)	: 0,301

1.4.3. Sifat Fisika Bahan Penunjang

1. Amoniak (NH₃)

Rumus Molekul	: NH ₃
Wujud	: Cair pada -33°C dan 1,013 bar
Warna	: Tidak Berwarna
Berat Molekul	: 17,03 kg/kmol
Densitas	: 686 kg/m ³
SG	: 0,59
Tekanan Kritis	: 112,8 bar
Temperatur Kritis	: 133°C
Titik Didih	: -33°C
Titik Lebur	: -77°C

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 2008. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2009. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2010. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2011. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2012. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2013. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2014. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2014. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2015. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2016. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- _____. 2017. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri Kimia*. Jakarta: BPS, Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI.
- ASME. 2013. *ASME Boiler & Pressure Vessel Code VIII: Rules for Construction of Pressure Vessels*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.

- Cost Information Equipment. 2018. Diakses pada tanggal 14 Juli 2018 dari <http://matche.com/EquipCost.htm>
- Brown, R. N. 2005. *Compressor: Selection and Sizing, 3rd Edition*. New York: Elsevier
- EP Patent No. 2,831,025 B1. Kiss, A.A. 2018. *Continous Process for The Preparation of Methanol by Hydrogenation of Carbon Dioxide*.
- Felder, R. M. and Rousseau R. W. 2000. *Elementary Principles of Chemical Process, 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Fogler, H. S. 2001. *Elements of Chemical Reaction Engineering 3th edition*. New Jersey : Prentice Hall PTR.
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*, Cetakan Ketiga. Palembang: Penerbit Unsri. ISBN 979-587-168-4.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw - Hill International Edition.
- Kiss, A. A., J. J. Pragt, M. J. Vos, G. Bargeman, dan M. T. de Groot. 2016. Novel Efficient Process for Methanol Synthesis by CO₂ Hydrogenation. *Chemical Engineering Journal*. 284: 260-269.
- McCabe, W. L. dkk. 2005. *Unit Operation of Chemical Engineering 7th Edition*. Mc Graw Hill.
- Park, M. J., H.W. Lim, S. H. Kang, H. J. Chae, J. W. Bae, dan K. W. Jun. 2009. Modeling of the Kinetics for Methanol Synthesis Using CuO/ZnO/Al₂O₃/ZrO₂ Catalyst: Influence of Carbon Dioxide during Hydrogenation. *Industrial Chemical Engineering*. 48(1): 10448-10455.
- Perry, R. H. and Green D. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition*. New York: McGraw - Hill Book Company.
- Peter, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering, 4th Edition*. New York : Mc Graw Hill International Book Co.

- Sheir, L. L., R. A. Jarman dan G. T. Burstein. 2000. *Corrosion*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Sinnot, R. K. 1999. *Chemical Engineering Volume 6 4th Edition*. New York: Buttenworth - Heinemann.
- Smith, J. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 6th Edition*. Singapore : Mc Graw Hill.
- SNI 03-6197-2000 tentang Konservasi Energi Pada Sistem Pencahayaan
- TEMA. 1978. *Standards of Tubular Exchanger Manufactures Association, 6th Edition*. New York: Tubular Exchanger Manufactures Association, Inc.
- Treybal, R. E. 2005. *Mass Transfer Operations, 3rd Edition*. Rhode Island: McGraw -Hill Book Co.
- Walas, S. M. 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. USA : Butterworth Publishers.
- Wang, J. F., X. An, Y. Z. Zuo, Q. Zhang dan D. Z. Wang. 2008. Dimethyl Ether Synthesis from CO₂ Hydrogenation on a CuO/ZnO/Al₂O₃/ZrO₂ Bifunctional Catalyst. *Industrial Chemical Engineering*. 47: 6547-6554.
- Winkle, M. V. *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Woods, D. R. 2007. *Rules of Thumb in Chemical Engineering Practice*. Jerman: Wiley-VCH.
- Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill
- Yaws, C. L. 2015. *The Yaws Handbook of Vapor Pressure, 2nd Edition*. New York: Elsevier