

**SKRIPSI**

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT  
KAPASITAS PRODUKSI 100.000 TON/TAHUN**

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



**ANNYSA ARIENTIKA PUTRI**

NIM. 03031381722097

**RIZKI HIDAYAT**

NIM. 03031281722047

**JURUSAN TEKNIK KIMIA  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

**2021**

## **HALAMAN PENGESAHAN**

**PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT  
KAPASITAS PRODUKSI 100.000 TON/TAHUN**

### **SKRIPSI**

**Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat  
Memperoleh gelar sarjana**

**Oleh:**

**Annysa Arientika Putri  
NIM. 03031381722097**

**Rizki Hidayat  
NIM. 03031381722047**

**Palembang, Januari 2022**

**Pembimbing,**



**Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.  
NIP. 197808222002122001**

**Mengetahui,**

**Ketua Jurusan Teknik Kimia**



**Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001**

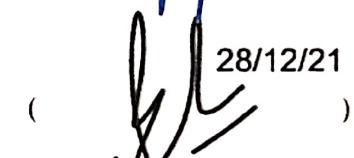
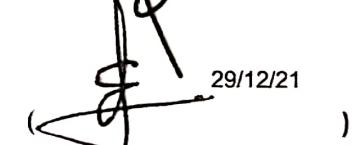
## **HALAMAN PERSETUJUAN**

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas Produksi 100.000 Ton Per Tahun" telah dipertahankan oleh Annysa Arientika Putri dan Rizki Hidayat di hadapan Tim penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 15 Desember 2021.

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi

1. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP. 197502012000122001

  
04 Jan 2022  
( )  
28/12/21  
( )  
29/12/21

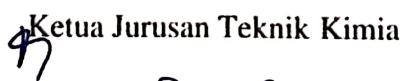
2. Budi Santoso, S.T., M.T.

NIP. 197706052003121004

3. Elda Melwita S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197505112000122001

Mengetahui,

 Ketua Jurusan Teknik Kimia

  
Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.

NIP. 197502012000122001

## BERITA ACARA PERBAIKAN LAPORAN

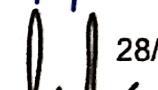
Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas Produksi 100.000 Ton Per Tahun" oleh Annysa Arientika Putri dan Rizki Hidayat **telah diperbaiki** sesuai arahan/tugas perbaikan dari Dosen Penguji dan Pembimbing.

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi:

1. Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T.  
NIP. 197502012000122001



04 Jan 2022



28/12/21



29/12/21

2. Budi Santoso, S.T., M.T.  
NIP. 197706052003121004

3. Elda Melwita S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197505112000122001

Mengetahui,

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

NIP. 197808222002122001

## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annysa Arientika Putri  
NIM : 03031381722097  
Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas Produksi 100.000 Ton/Tahun  
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Rizki Hidayat 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, Januari 2022



## HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rizki Hidayat

NIM : 03031281722047

Judul Tugas Akhir : Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas Produksi 100.000 Ton/Tahun

Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Annysa Arientika Putri 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.



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul **“Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas Produksi 100.000 Ton/Tahun”** dapat diselesaikan. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam memperoleh gelar Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Laporan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tidak lepas dari dukungan, bimbingan, dan bantuan dari banyak pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga tercinta yang selalu memberikan support dan doanya
2. Ibu Dr. Fitri Hadiyah, S.T.,MT., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu bersemangat dalam membimbing kami menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T.,M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya.
4. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
5. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Kimia Angkatan 2017 yang telah memberikan banyak motivasi, saran, dan juga dukungan untuk kami.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan laporan ini. Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan gambaran mengenai perancangan pabrik, serta dapat dijadikan sebagai referensi ilmu pengetahuan.

Palembang, November 2021

Penulis

## **RINGKASAN**

PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT KAPASITAS PRODUKSI 100.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Desember 2021

Annysa Arientika Putri dan Rizki Hidayat; Dibimbing oleh Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya  
xviii + 460 halaman, 10 tabel, 9 gambar, 4 lampiran.

## **RINGKASAN**

Pabrik Pembuatan Metil Asetat dengan kapasitas 100.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2026 di kawasan industrial, Desa Ciagel, Kecamatan Kibin, Kabupaten Serang, Provinsi Banten dengan perkiraan luas area sebesar 2 Ha. Patent No. US10287233B2 dengan proses Karbonilasi dimethyl ether membentuk produk Metil Asetat. Reaktor yang digunakan adalah reaktor tipe *fixed bed reactor* yang beroperasi pada temperatur 230°C dan tekanan 99 atm.

Bentuk perusahaan yang digunakan pada rancangan pabrik ini adalah Perseroan Terbatas dengan struktur organisasi *line and staff*, dipimpin oleh direktur utama dengan karyawan pabrik sebanyak 151 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, maka pabrik Metil Asetat dinyatakan layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam persyaratan parameter ekonomi, antara lain:

- Biaya Investasi = US\$ 25.982.275,82
- Hasil penjualan per tahun = US\$ 273.217.538,02
- Biaya produksi per tahun = US\$ 247.985.297,93
- Annual Cash Flow = US\$ 19.672.297,10
- Pay Out time = 1,41 tahun
- Rate of return on investment = 67,98%
- Discounted Cash Flow –ROR = 74,21%
- Break Even Point = 37,78 %
- Service Life = 11 tahun

**Kata Kunci:** Metil Asetat, *Fixed Bed Reactor*, Karbonilasi, Perseroan Terbatas

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERBAIKAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xx</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan .....	2
1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Metil Asetat .....	3
1.4. Sifat Fisika dan Kimia Senyawa .....	5
<b>BAB II PERENCANAAN PABRIK .....</b>	<b>11</b>
2.1. Alasan Pendirian Pabrik .....	11
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi .....	12
2.3. Pemilihan Bahan Baku .....	14
2.4. Pemilihan Proses .....	14
2.5. Uraian Proses.....	15
<b>BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK .....</b>	<b>17</b>
3.1. Lokasi Pabrik.....	17
3.2. Tata Letak Peralatan.....	20
3.3. Tata Letak Pabrik .....	21
3.4. Perkiraan Luas Area yang Diperlukan .....	22
<b>BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....</b>	<b>23</b>
4.1. Neraca massa.....	23
4.2. Neraca panas .....	32
<b>BAB V UTILITAS .....</b>	<b>38</b>

5.1. Unit Penyediaan Steam.....	38
5.2. Unit Penyediaan Air .....	39
5.3. Unit Penyediaan Tenaga Listrik.....	43
5.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	44
<b>BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN .....</b>	<b>48</b>
<b>BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN .....</b>	<b>85</b>
7.1. Bentuk Perusahaan .....	85
7.2. Struktur Organisasi.....	86
7.3. Manajemen Perusahaan.....	86
7.4. Tugas dan Wewenang .....	87
7.5. Sistem Kerja .....	90
7.6. Penentuan Jumlah Karyawan .....	91
<b>BAB VIII ANALISA EKONOMI.....</b>	<b>97</b>
8.1. Keuntungan (Profitabilitas) .....	98
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal .....	99
8.3. Total Modal Akhir.....	101
8.4. Laju Pengembalian Modal .....	103
8.5. Break Even Point (BEP).....	104
<b>BAB IX KESIMPULAN.....</b>	<b>107</b>
<b>BAB X TUGAS KHUSUS .....</b>	<b>108</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>130</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>131</b>

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1. Perbedaan Proses Esterifikasi dan Proses Karbonilasi .....	4
Tabel 2.1. Impor Metil Asetat di Indonesia .....	12
Tabel 5.1. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 135°C .....	38
Tabel 5.2. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 200°C .....	39
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Pendingin yang Digunakan .....	40
Tabel 5.4. Kebutuhan Listrik Untuk Peralatan .....	44
Tabel 7.1. Pembagian Jam Kerja Karyawan <i>Shift</i> .....	91
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan .....	94
Tabel 8.1. Angsuran Pengembalian Pinjaman .....	100
Tabel 8.2. Kesimpulan Analisa Ekonomi .....	106

## **DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1. Grafik Impor Metil Asetat di Indonesia .....	13
Gambar 3.1. Peta Rencana Lokasi Pendirian Pabrik .....	17
Gambar 3.2. Peta Rencana Lokasi Pendirian Pabrik .....	18
Gambar 3.3. Jarak Perencanaan Lokasi Pabrik dengan Bahan Baku .....	18
Gambar 3.4. Tata Letak Peralatan di Pabrik Metil Asetat .....	21
Gambar 3.5. Tata Letak Pabrik .....	22
Gambar 3.6. Flowsheet Metil Asetat .....	23
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan .....	96
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i> .....	105

## DAFTAR NOTASI

### 1. *Knock Out Drum*

A	: Vessel area minimum, m <sup>2</sup>
C	: Korosi maksimum, in
D	: Diameter vessel minimum, m
E	: Joint <i>efficiency</i>
H <sub>L</sub>	: Tinggi liquid, m
H <sub>t</sub>	: Tinggi vessel, m
P	: Tekanan desain, psi
Q <sub>V</sub>	: Laju alir volumetrik 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>	: <i>Volume vessel</i> , m <sup>3</sup>
V <sub>h</sub>	: <i>Volume head</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 liquid, kg/m <sup>3</sup>

### 2. *Furnace*

A <sub>cp</sub>	: <i>Cold plate area shield tube</i> , ft <sup>2</sup>
A <sub>cpw</sub>	: <i>Cold plate area shield wall</i> , ft <sup>2</sup>
A <sub>r</sub>	: Luas area radian, ft <sup>2</sup>
A <sub>Rt</sub>	: Luas permukaan radian, ft <sup>2</sup>
A <sub>rt</sub>	: <i>Total exposed radiant length</i> , ft <sup>2</sup>
F	: Jumlah <i>fuel</i> yang dibutuhkan, kg/jam
H	: Tinggi radian total, ft
L <sub>beam</sub>	: <i>Mean beam length</i> , ft
L <sub>r</sub>	: Lebar seksi radian, ft
L <sub>s</sub>	: Lebar bagian <i>shield</i> , ft

$N_t$	: Jumlah <i>tube</i> , buah
$Q$	: Beban panas, Btu/jam
$q_n$	: <i>Net heat release</i> , Btu/jam
$q_r$	: <i>Radiant duty</i> , Btu/jam
$T_f$	: Temperatur rata-rata fluida, °F
$T_t$	: Temperatur rata-rata dinding, °F

### 3. Heat Exchanger (Cooler, Condensor, Heater, Partial Condensor, Vaporizer, dan Reboiler)

$A$	: Area perpindahan panas, $\text{ft}^2$
$a_a, a_p$	: Area alir pada annulus, <i>inner pipe</i> , $\text{ft}^2$
$a_s, a_t$	: Area alir pada <i>shell and tube</i> , $\text{ft}^2$
$a''$	: <i>External surface</i> per 1 in, $\text{ft}^2/\text{in}$
$B$	: <i>Baffle spacing</i> , in
$C''$	: <i>Clearence</i> antar <i>tube</i> , in
$C_p$	: <i>Spesific heat</i> , Btu/lb°F
$D$	: Diameter dalam <i>tube</i> , in
$D_e$	: Diameter ekuivalen, in
$D_s$	: Diameter <i>shell</i> , in
$f$	: Faktor friksi, $\text{ft}^2/\text{in}^2$
$G_t, G_s$	: Laju alir pada <i>tube</i> , <i>shell</i> , lb/h.ft $^2$
$g$	: Percepatan gravitasi
$h$	: Koefisien perpindahan panas, Btu/hr.ft $^2$ .°F
$h_1, h_o$	: Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam, bagian luar <i>tube</i>
$j_H$	: Faktor perpindahan panas
$k$	: Konduktivitas termal, Btu/hr.ft $^2$ .°F
$L$	: Panjang <i>tube</i> pipa, ft
LMTD	: <i>Logaritmic Mean Temperature Difference</i> , °F
$N$	: Jumlah <i>baffle</i>
$N_t$	: Jumlah <i>tube</i>
$P_T$	: <i>Tube pitch</i> , in
$\Delta PT$	: <i>Return drop shell</i> , psi
$\Delta PS$	: Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , psi

$\Delta P_t$	: Penurunan tekanan pada <i>tube</i> , psi
ID	: <i>Inside diameter</i> , ft
OD	: <i>Outside diameter</i> , ft
Q	: Beban panas heat exchanger, Btu/hr
$R_d$	: <i>Dirt factor</i> , hr.ft <sup>2</sup> .°F/Btu
$R_e$	: Bilangan <i>Reynold</i> , dimensionless
s	: <i>Specific gravity</i>
$T_1, T_2$	: Temperatur fluida panas inlet, outlet, °F
$t_1, t_2$	: Temperatur fluida dingin inlet, outlet, °F
$T_a$	: Temperatur rata-rata fluida panas, °F
$t_a$	: Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
$t_f$	: Temperatur film, °F
$t_w$	: Temperatur pipa bagian luar, °F
$\Delta t$	: Beda temperatur yang sebenarnya, °F
U	: Koefisien perpindahan panas
$U_c, U_D$	: <i>Clean overall coefficient, Design overall coefficient</i> , Btu.hr.ft <sup>2</sup> .°F
V	: Kecepatan alir, ft/s
W	: Kecepatan alir massa fluida panas, lb/hr
w	: Kecepatan alir massa fluida dingin, lb/hr
$\mu$	: Viskositas, Cp

#### 4. Kompresor dan Ekspander

K	: Konsanta kompresi
n	: Jumlah <i>stage</i>
$\eta$	: Efisiensi kompressor
$P_{IN}$	: Tekanan masuk, bar
$P_{OUT}$	: Tekanan keluar, bar
$T_1$	: Temperatur masuk kompressor, °C
$T_2$	: Temperatur keluar kompressor, °C
Pw	: <i>Power</i> kompressor, HP
Q	: Kapasitas kompressor, lb/menit
$R_c$	: Rasio kompressi

$W$  : Laju alir massa, lb/jam  
 $\rho$  : Densitas, kg/m<sup>3</sup>

## 5. Kolom Distilasi

$\alpha$  : Relatif volatilitas  
 $N_m$  : Stage minimum  
 $L/D$  : Refluks  
 $N$  : Stage/tray  
 $m$  : Rectifying section  
 $p$  : Stripping section  
 $FLV$  : Liquid-vapor flow factor  
 $U_f$  : Kecepatan flooding, m/s  
 $U_v$  : Volumetric flowrate, m<sup>3</sup>/s  
 $A_n$  : Net area, m<sup>2</sup>  
 $A_c$  : Cross section / luas area kolom, m<sup>2</sup>  
 $D_c$  : Diameter kolom, m  
 $A_d$  : Downcomer area, m<sup>2</sup>  
 $A_a$  : Active area, m<sup>2</sup>  
 $l_w$  : Weir length, m  
 $A_h$  : Hole area, m<sup>2</sup>  
 $h_w$  : Weir height, mm  
 $d_h$  : Hole diameter, mm  
 $L_m$  : Liquid rate, kg/det  
 $h_{ow}$  : Weir liquid crest, mm liquid  
 $U_h$  : Minimum design vapor velocity, m/s  
 $C_o$  : Orifice coefficient  
 $h_d$  : Dry plate drop, mm liquid  
 $h_r$  : Residual head, mm liquid  
 $h_t$  : Total pressure drop, mm liquid  
 $h_{ap}$  : Downcomer pressure loss, mm  
 $A_{ap}$  : Area under apron, m<sup>2</sup>  
 $H_{dc}$  : Head loss in the downcomer, mm  
 $h_b$  : Backup di downcomer, m

$tr$	: Check resident time, s
$\theta$	: Sudut sub intended antara pinggir plate dengan unperforated strip
$L_m$	: <i>Mean length, unperforated edge strips</i> , m
$A_{up}$	: <i>Area of unperforated edge strip</i> , m <sup>2</sup>
$L_{cz}$	: <i>Mean length of calming zone</i> , m
$A_{cz}$	: <i>Area of calming zone</i> , m <sup>2</sup>
$A_p$	: <i>Total area perforated</i> , Ap
$A_{oh}$	: Area untuk 1 hole, m <sup>2</sup>
$t$	: Tebal dinding, cm
$r$	: Jari-jari tanki, m
$S$	: Tekanan kerja yang diijinkan, Bar
$C_c$	: Korosi yang diijinkan, m
$E_j$	: Efisiensi pengelasan
$O_D$	: Diameter luar, m
$I_D$	: Diameter dalam, m
$E_{mv}$	: Efisiensi tray, %
$\rho$	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>
$\mu$	: Viskositas, N.s/m <sup>2</sup>
$F_A$	: Fractional Area
$H_e$	: Tinggi tutup elipsoidal, m
$H_t$	: Tinggi tanki, m
$M_{cat}$	: Massa katalis

## 6. Pompa

$A$	: Area alir pipa, in <sup>2</sup>
$B_{HP}$	: <i>Brake Horse Power</i> , HP
$D_{opt}$	: Diameter optimum pipa, in
$f$	: Faktor friksi
$g$	: Percepatan gravitasi, ft/s <sup>2</sup>
$g_c$	: Konstanta percepatan gravitasi, ft/s <sup>2</sup>
$H_f$	: Total friksi, ft
$H_{fs}$	: Friksi pada dinding 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  
 $I_D$  : *Inside diameter*, in  
 $O_D$  : *Outside diameter*, in  
 $K_c, K_e$  : *Contaction, ekspansion contraction*, ft  
 $L$  : Panjang pipa, m  
 $L_e$  : Panjang ekuivalen pipa, m  
 $m_f, m_s$  : Kapasitas pompa, laju alir, lb/h  
 $MHP$  : *Motor Horse Power*, HP  
 $NPSH$  : *Net Positive Suction Head*, ft .lbf/ lb  
 $P_{uap}$  : Tekanan uap, psi  
 $Q_f$  : Laju alir volumetrik,  $\text{ft}^3/\text{s}$   
 $R_e$  : *Reynold Number, dimensionless*  
 $V_s$  : *Suction velocity*, ft/s  
 $V_d$  : *Discharge velocity*, ft/s  
 $\Delta P$  : *Differential pressure*, psi  
 $\epsilon$  : *Equivalent roughness*, ft  
 $\eta$  : Efisiensi pompa  
 $\mu$  : Viskositas, kg/m.hr  
 $\rho$  : Densitas,  $\text{kg}/\text{m}^3$

## 7. Reaktor

- $B_{Mav}$  : BM rata-rata,  $\text{kg}/\text{kmol}$   
 $g$  : Percepatan Gravitasi,  $\text{m}/\text{s}^2$   
 $H_S$  : Tinggi *Head* Reaktor, m  
 $HR$  : Tinggi reaktor total, m  
 $k$  : Konstanta reaksi ,  $\text{m}^3/\text{kmol.s}, \text{s}^{-1}$   
 $M_{fr}$  : Laju alir massa, kg/jam  
 $Q_f$  : *Volumetric Flowrate* Umpan,  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $t$  : Tebal dinding reaktor, m  
 $V_f$  : *Total free volume*,  $\text{m}^3$   
 $V_{HR}$  : *Volume head* reaktor, m

$V_R$	: Volume Total Reaktor, m
$V_s$	: Volume <i>Shell</i> , m <sup>3</sup>
$\mu$	: Viskositas Campuran, kg m/s

## 8. Tangki

$C$	: <i>Allowable corrosion</i> , m
$D$	: Diameter tanki, m
$E$	: <i>Joint effisiensi</i>
$h$	: Tinggi head, m
$H_e$	: Tinggi elipsoidal, m
$H_s$	: Tinggi silinder tanki, m
$H_t$	: Tinggi total tanki, m
$P$	: Tekanan, Bar
$S$	: <i>Allowable stress</i> , psi
$t$	: Tebal dinding tanki, m
$V_h$	: Volume head, m <sup>3</sup>
$V_s$	: Volume silinder, m <sup>3</sup>
$V_t$	: Kapasitas tanki, m <sup>3</sup>
$W$	: Laju alir massa, kg/jam
$\rho$	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>

## 9. Pressure Swing Adsorber

$\rho$	: Densitas, kg/m <sup>3</sup>
$W$	: Laju alir massa, kg/jam
$V_k$	: Kapasitas kolom
$V_t$	: Volume Total
$C$	: Korosi maksimum, in
$E$	: Joint <i>efficiency</i>
$S$	: <i>Working Stress Allowable</i>
$F_a$	: Kapasitas adsorpsi

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Perhitungan Neraca Massa.....	131
Lampiran 2. Perhitungan Neraca Panas.....	170
Lampiran 3. Perhitungan Spesifikasi Peralatan .....	218
Lampiran 4. Perhitungan Ekonomi.....	435

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan dan pertumbuhan sektor industri Indonesia akan selalu mengalami peningkatan, seiring dengan meningkatnya kebutuhan produk-produk industri. Berdasarkan data Kemenperin (2020), nilai peningkatan pertumbuhan industri kimia mencapai 8,65% bersamaan dengan peningkatan produksi bahan kimia. Capaian ini berkontribusi kepada nilai Produk Domestik Bruto (PDB) sebesar Rp265 triliun. Berkaitan dengan data tersebut perkembangan sektor industri diupayakan secara maksimal melalui peningkatan pengelolaan sumber daya alam dan sumber daya manusia agar dapat menghasilkan produk-produk yang berkualitas. Melalui sektor ini diharapkan industri Indonesia mampu berkontribusi sebagai salah satu pemenuh kebutuhan internasional terhadap suatu produk kimia.

Pengembangan industri kimia Indonesia bertujuan untuk membatasi impor bahan baku industri, dan meningkatkan produksi bahan baku dalam negeri sehingga bisa di ekspor ke luar negeri dan dapat bersaing di pasar internasional. Salah satu bahan kimia dasar yang dibutuhkan dalam negeri dan masih didatangkan dari luar negeri adalah metil asetat. Metil asetat dengan nama lain asam asetat metil ester atau metil etanoat, merupakan ester karboksilat dengan rumus kimia  $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ . Metil asetat merupakan senyawa organik berupa cairan tidak berwarna yang memiliki bau khas dan bersifat mudah terbakar. Senyawa ini mudah terurai secara hayati sehingga sering digunakan sebagai campuran untuk pembersih yang ramah lingkungan. Metil asetat juga merupakan pelarut aktif yang cepat menguap, bersifat polar lemah, mudah terlarut dalam air, dan bersifat lipofilik.

Senyawa ini sering digunakan sebagai pelarut dalam pembuatan lem, tinta, resin, penghilang cat, dan minyak. Dibandingkan dengan pelarut dengan penguapan cepat seperti aseton dan etil asetat, metil asetat memiliki viskositas larutan yang sedikit lebih tinggi dari aseton tetapi lebih rendah dari etil asetat. Metil asetat merupakan pelarut aktif untuk resin-resin seperti: selulosa asetat butirat, nitroselulosa, kopolimer vinil, akrilat, epoksi, poliamida, fenolat, alkid, dan poliester. Metil asetat digunakan sebagai bahan kimia campuran dalam pembuatan

asetat anhidrida (PubChem, 2021). Dari uraian tersebut Metil Asetat sebagai pelarut dan campuran sintesa bahan kimia lain dapat langsung dipasarkan ke berbagai industri, sehingga akan mendorong peningkatan konsumsi terhadap produk ini.

Konsumen utama senyawa metil asetat tersebar di negara-negara Asia Timur dan Tenggara, seperti negara Cina dan Thailand, serta Eropa Barat dan Amerika Serikat, dengan pasar Asia yang menguasai lebih dari sepertiga pasar dunia (Erglan dkk, 2016). Data trend Comtrade pada tahun 2013-2019 menyebutkan bahwa kebutuhan impor Metil Asetat di Indonesia cenderung meningkat selama beberapa tahun yang akan datang, dan karena kebutuhan yang besar di pasar Asia, maka merupakan prospek yang sangat baik bagi pendirian pabrik Metil Asetat di Indonesia. Pendirian pabrik Metil Asetat di Indonesia dapat membantu mengurangi ketergantungan impor dengan memenuhi kebutuhan Metil Asetat dalam negeri. Selain memenuhi kebutuhan Metil Asetat, pabrik ini juga membuka lapangan kerja baru, mendorong pertumbuhan industri yang berbahan baku Metil Asetat, serta menambah pendapatan negara.

## 1.2. Sejarah dan Perkembangan

Pada mulanya senyawa kimia berupa metil asetat diproduksi secara industri melalui proses karbonilasi metanol sebagai produk samping dari produksi asam asetat. Proses konvensional untuk sintesis senyawa metil asetat terdiri dari delapan kolom distilasi, dan menjadi rumit dikarenakan adanya dua azeotrop yaitu antara metil asetat dan metanol, dan antara metil asetat dan air (Keller, 2014).

Pada tahun 1920an Eastman-Kodak melalui permodelan dan simulasi serta contoh eksperimental melakukan pembuatan Metil Asetat menggunakan teknologi distilasi reaktif yang hanya membutuhkan satu kolom untuk menghasilkan senyawa ini. *Reactive distillation* atau distilasi reaktif merupakan konsep penggabungan reaksi-separasi dimana reaksi dan destilasi terjadi di waktu yang sama dan pada tempat yang sama (Keller, 2014). Kekurangan dari teknologi ini adalah memiliki selektivitas produk yang kecil, dan membutuhkan tambahan *solvent* dalam proses pemisahannya sehingga memerlukan proses hybrid atau penggabungan dengan menggunakan *membrane separation process* (Tobias, 2014).

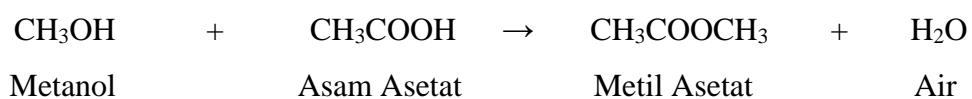
Produksi Metil Asetat dapat dilakukan dengan reaksi esterifikasi. Reaksi yang terjadi adalah mereaksikan asam asetat dan metanol, yang akan menghasilkan metil asetat dan juga air sebagai produk samping. Reaksi esterifikasi pada metil asetat ini berlangsung lama. Seiring berjalannya waktu, pembuatan senyawa metil asetat dilakukan dengan penggunaan katalis yang berbeda-beda. Saat ini proses pembuatan metil asetat dapat dilakukan dengan menggunakan reaksi karbonilasi. Reaksi ini menggunakan bahan baku berupa dimethyl ether dan juga karbon monoksida, yang prosesnya dibantu dengan menggunakan bantuan katalis. Reaksi karbonilasi dimethyl ether ini memiliki konversi yang tinggi.

### 1.3. Macam-Macam Proses Pembuatan Metil Asetat

Metil asetat dapat dibuat dengan berbagai macam proses. Proses tersebut dibedakan berdasarkan jenis reaksi dan bahan baku. Produksi metil asetat dapat dilakukan melalui reaksi esterifikasi dan karbonilasi (Hapsari dan Wibowo, 2020).

#### 1.3.1. Reaksi Esterifikasi

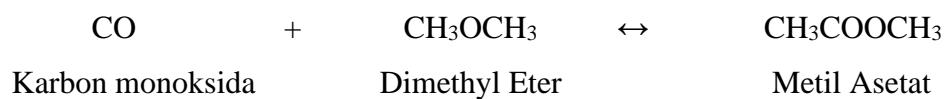
Metil Asetat dapat dibuat dengan melakukan sintesa terhadap metanol dan asam asetat yang menghasilkan produk berupa metil asetat dan air sebagai produk samping. Laju reaksi pada proses esterifikasi berjalan sangat lambat (Hapsari dan Wibowo, 2020). Reaksi esterifikasi menggunakan katalis asam seperti *sulfuric acid* (Widodo dan Maesaroh, 2016). Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



Menurut Ganesh dalam Hapsari dan Wibowo (2020), reaksi pembuatan Metil Asetat secara konvensional dilakukan secara optimal dengan menggunakan tangki berpengaduk CSTR, dengan temperatur reaksi 50°C dan pada tekanan 101,3 kPa. Proses ini membutuhkan alat berupa 1 reaktor, 1 netralizer, dan 3 kolom distilasi. Pada kondisi operasi tersebut konversi maksimum yang didapatkan mencapai 70%, dengan perbandingan reaktan asam asetat:metanol sebesar 1:1. Selain itu penggunaan reaktan berlebih juga dilakukan pada perbandingan asetat:metanol sebesar 1:9, sehingga didapat *yield* terbesar 95,5% dan konversi reaksi sebesar 90%.

### 1.3.2. Reaksi Karbonilasi

Metode karbonilasi merupakan pilihan yang tepat untuk pabrik dengan potensi karbon monoksida yang dekat/tersedia disekitar lokasi pabrik. Reaksi karbonilasi memiliki kelebihan dalam prosesnya yang sederhana, memiliki nilai konversi yang tinggi, dan penggunaan biaya yang lebih sedikit (Diemer dan Luyben, 2010). Reaksi kimia karbonilasi melibatkan reaksi antara senyawa CO dengan DME, dengan menggunakan katalis berupa zeolite untuk mempercepat laju reaksi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:



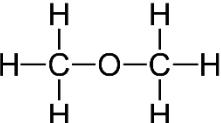
Reaksi karbonilasi dapat dijalankan pada rentang temperatur 170-240°C, dengan tekanan sebesar 1-15 MPa, memberikan konversi terhadap dimetil eter hingga 87,8% dengan selektivitas metil asetat hingga 99,8%.

Tabel 1.1 Perbedaan Proses Esterifikasi dan Proses Karbonilasi

No	Karakteristik	Esterifikasi	Karbonilasi
1.	Bahan baku	Asam Asetat-Metanol	Karbon Monoksida-Dimethyl Ether
2.	Fase	Cair-Cair	Gas-Cair
3.	Perbandingan Mol	1:1-9	1:2-12
4.	Temperatur (°C)	50	170-240
5.	Tekanan (atm)	1	10-148
6.	Konversi (%)	70-90	16-95,2
7.	Katalis	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (Asam Sulfat)	Mordenite

#### 1.4. Sifat Fisika dan Kimia Senyawa

##### 1.4.1. Dimetil eter

Rumus molekul	: C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O
Rumus Bangun	: 
Massa molekul	: 46,08 gr/mol
Warna	: Tidak Berwarna
Fase pada suhu kamar	: Gas
Titik beku	: -141,5°C
Titik didih	: -24,82°C
Flash point	: -41,11°C
Temperatur kritis	: 126,95°C
Flash point	: -41,11°C
Tekanan uap	: 4,24 atm
Tekanan kritis	: 526 atm
Auto-ignition Temperature	: 350°C
Densitas gas	: 0,1222 lb/ft <sup>3</sup>
Volume spesifik	: 8,1833 (ft <sup>3</sup> /lb)

(Source: Material Safety Data Sheet Dimetil Eter Airgas, 2019).

##### 1.4.2. Karbon Monoksida

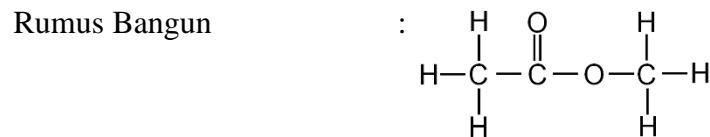
Rumus molekul	: CO
Rumus Bangun	: C ≡ O
Massa molekul	: 28,01gr/mol
Warna	: Tidak Berwarna
Fase pada suhu kamar	: Gas
Titik beku	: -205,1°C
Titik didih	: -191,5°C
Temperature kritis	: -139,8°C
Tekanan kritis	: 3499 kPa (34,5 atm)
Densitas gas	: 0,072 lb/ft <sup>3</sup>

Auto-ignition temperature : 605°C

(Source: Material Safety Data Sheet Carbon Monoxide Praxair, 2016).

#### 1.4.3. Metil Asetat

Rumus molekul : C<sub>3</sub>H<sub>6</sub>O<sub>2</sub>



Massa molekul : 74,08 gr/mol

Warna : Tidak berwarna

Fase pada suhu kamar : *Liquid*

Titik beku : -98°C

Titik didih : 57,5°C

Flash point : -13°C

Tekanan kritis : 173 mmHg

Tekanan uap : 228,3 mbar (20°C)

Spesifik graviti : 0,92 (air=1)

Auto-ignition temperature : 454°C

Kelarutan : Mudah larut dalam metanol, dietil eter, dan air.

(Source: Material Safety Data Sheet Methyl Acetate Merck, 2021).

#### 1.4.4. Hidrogen

Rumus molekul : H<sub>2</sub>

Rumus Bangun : H — H

Massa molekul : 2,02 gr/mol

Warna : Tidak Berwarna

Fase pada suhu kamar : Gas

Titik beku : -259,15°C

Titik didih : -253°C

Temperature kritis : 240,15°C

Densitas gas : 0,083 lb/ft<sup>3</sup>

Densitas Liquid	: 4,43 lb/ft <sup>3</sup>
Volume spesifik	: 12,0482 ft <sup>3</sup> /lb
Auto-ignition temperature	: 500-571°C
Flamabilitas	: Mudah terbakar dalam bahan atau kondisi tertentu

(Source: Material Safety Data Sheet Hydrogen Airgas, 2020).

#### 1.4.5. Metil Formate

Rumus	: C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>
Rumus Bangun	: <div style="text-align: center;"> <math display="block">\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{C}-\text{O}-\text{C}-\text{H} \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}</math> </div>
Massa molekul	: 60,05 gr/mol
Warna	: Tidak Berwarna
Bau	: Tidak Ada
pH	: 4-5 (pada T=20°C)
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik beku	: -100°C
Titik didih	: 31-33°C
Flash point	: -32°C
Tekanan uap	: 0,63 atm
Densitas uap	: 2,07
Auto-ignition temperature	: 440°C
Kelarutan	: Larut dalam air

(Source: Material Safety Data Sheet Metil Formate ThermoFischer, 2019).

#### 1.4.6. Methanol

Rumus	: CH <sub>3</sub> OH
Rumus Bangun	: <div style="text-align: center;"> <math display="block">\begin{array}{c} \text{H} \\   \\ \text{H}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\   \\ \text{H} \end{array}</math> </div>
Massa molekul	: 32,04 gr/mol

Warna	: Tidak berwarna
Bau	: Bau alkohol
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik beku	: -97,6°C
Titik didih	: 64,7°C
Flash point	: 9,7°C
Temperature kritis	: 240°C
Tekanan kritis	: 78,5 atm
Tekanan kritis	: 73,7 bar (72,7 atm)
Tekanan uap	: 0,12 atm (pada T=20°C)
Auto-ignition temperature	: 464°C
Kelarutan	: Larut dalam air, etanol, eter, aseton, dan kloroform

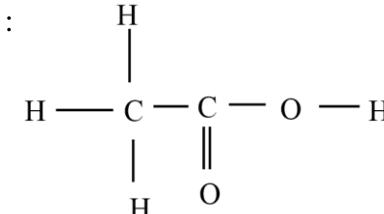
(Source: Material Safety Data Sheet methanol Valtech, 2020).

#### 1.4.7. Karbon Dioksida

Rumus	: CO <sub>2</sub>
Rumus Bangun	: O=C=O
Massa molekul	: 44 gr/mol
Warna	: Tidak Berwarna
Bau	: Tidak Ada
Fase pada suhu kamar	: Gas
Titik beku	: Tidak Ada
Titik didih	: -78,5°C
Temperature kritis	: 31°C
Tekanan kritis	: 73,7 bar (72,7 atm)
Tekanan uap	: 57,3 bar (56,5 atm)
Densitas gas relatif	: 1,52
Densitas uap relative	: 762 (pada T=20°C)

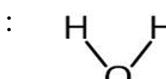
(Source: Material Safety Data Sheet Hydrogen Praxair, 2016).

#### 1.4.8. Asam Asetat

Rumus molekul	: CH <sub>3</sub> COOH
Rumus Bangun	: 
Massa molekul	: 60,05 gr/mol
pH	: 2,4 (0.1 mol/L)
Bau	: Bau Menyengat/ Bau Cuka
Warna	: Tidak berwarna
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik beku	: 17°C
Titik didih	: 118°C
Tekanan kritis	: 45300 hPa
Tekanan uap	: 20,79 hPa (25°C)
Temperatur kritis	: 322°C
Flash point	: 39°C
Spesifik graviti	: 1040 kg/m <sup>3</sup> (25°C)
Auto-ignition temperature	: 463°C
Kelarutan	: Mudah larut dalam air, etanol, dietil eter, aseton, gliserol, dan tetraklorometana

(Source: Material Safety Data Sheet Acetic Acid LabChem, 2020).

#### 1.4.9. Air

Rumus molekul	: H <sub>2</sub> O
Rumus Bangun	: 
Massa molekul	: 18.015 gr/mol
pH	: 7
Bau	: Tidak berbau
Warna	: Tidak berwarna
Fase pada suhu kamar	: Liquid
Titik leleh	: 0°C

Titik didih	: 100°C
Tekanan kritis	: 218,3 atm
Tekanan uap	: 17,535 mmHg
Temperatur kritis	: 374,1°C
Spesifik graviti	: 0,99823 g/ml
Viskositas	: 1,002 cP
Kelarutan	: Mudah larut dalam asam asetat, aseton, ammonia, amonium klorida, etanol, gliserol, asam hidroklorat, metanol, asam nitrat, asam sulfat, propilen glikol.

(Source: Material Safety Data Sheet Acetic Acid LabChem, 2021).

## DAFTAR PUSTAKA

- Anam, C., Tuapel, J. V., Rasyid, M. K., Santika, P. M., dan Suastiyanti, D. 2018. Analisis Peningkatan Efisiensi Direct-Fired Heater. *Jurnal Teknik Mesin – ITI*. Vol. 2(2): 51-56.
- Bantenprov. 2012. Geografi Kota Banten. (*Online*). <https://bantenprov.go.id/profil-provinsi/geografi>. (Diakses pada Tanggal 28 April 2021).
- Coulson, J.M. 2005. *Chemical Engineering, 3th edition, Volume 6*. New York: McGraw Hill.
- Diemer, Bertrum., dan Luyben, William. 2010. Design and Control of a Methyl Acetate Process Using Carbonylation of Dimethyl Ether. *Journal of Ind. Eng. Chem. Res.* Vol. 49: 12224–12241.
- Eglan, Bryan., Fong, Daron., Koehn, Brett., dan Singh, Simar. 2016. Synthesis of Methyl Acetate through Esterification Plant Design. (*Online*). <https://brettkoehncheme.com/2016/05/synthesis-of-methyl-acetate-through.html>. (Diakses pada Tanggal 20 Mei 2021).
- Evans, F. L. 1980. *Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants Second Edition*. Texas: Gulf Publishing Company.
- Faith, W. L., Keyes, D. B., dan Clark, R. L. 1975. *Industrial Chemicals, 4th Edition*. New York: John Wiley Sons Inc.
- Fatmawati, I. Puspitasari, W., Pujiarti, R., Ardianti, S., Fatimah, I. 2018. Pengaruh Berat CaO dari Cangkang Keong Sawah (Pilla Ampullacea) Pada Aktivitasnya Sebagai Katalis Heterogen pada Konversi Biodiesel Dari Minyak Bekatul. *Jurnal Ilmu-ilmu MIPA*. Vol. 18(7): 64-73.
- Feriyanto. 2012. *Macam-Macam Reaktor (Reactor), Best Practice Experience in Power Plant*. Surabaya: Caesarvery.
- Foley, Alexandra. 2014. COMSOL: What Is a Packed Bed Reactor? (*Online*). <https://www.comsol.com/packed-bed-reactor/> (Diakses pada tanggal 22 Oktober 2021)
- Hapsari, Nimas Ayu Prawito., dan Wibowo, Agung Ari. 2020. Studi Kasus Simulasi Reaktor Equilibrium Pada Produksi Metil Asetat Menggunakan Software Chemcad. *Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 6 (2): 49-55.

- Keller, Tobias. 2014. *Reactive Distillation: Chapter 8*. Germany: Elsevier.
- Kemenperin. 2020. Siaran Pers Kemenperin. (*Online*).  
<https://kemenperin.go.id/artikel/22050/Beri-Dukungan,-Menperin-Sidak-Langsung-Proyek-Revamping-TPPI-Tuban>. (Diakses pada Tanggal 20 Mei 2021).
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Legal Advantage. 2017. An Overview Of Different Types of Catalysts. (*Online*). An Overview Of Different Types of Catalysts - Legal Advantage. (Diakses pada Tanggal 22 Oktober 2021).
- Levenspiel, Octave. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Liu, Hongchao. Zhu, Wenliang. Liu, Yong. Ni, Youming., Liu, Zhongmin Wang, Linying., Tian, Peng. 2018. Methyl Acetate Preparation Method. *US 10287233 B2*.
- Migas. Material Refractory. <https://migas-indonesia.com/2005/10/13/material-refractory/>. (*Online*). (Diakses pada tanggal 22 Oktober 2021)
- Perpamsi Banten. 2021. Kota Cilegon. (*Online*).  
[www.perpamsibanten.org/kotacilegon.htm](http://www.perpamsibanten.org/kotacilegon.htm) (Diakses pada Tanggal 28 April 2021).
- Peters, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design And Economics For Chemical Engineers-Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- PubChem. 2021. Compound Summary: Methyl Acetate. (*Online*)  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/methyl-acetate>. (Diakses pada Tanggal 21 April 2021).
- Puspawan, A., Supardi, N. I., dan Budiarjo, R. S. 2018. Perhitungan Life Time Terhadap Corrosion Rate pada Pipa Furnace Crude Distillation Unit III PT. Pertamina Refinery Unit III-Plaju Palembang, Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Rekayasa Mekanik*. Vol. 2(2): 7-16.
- Rasmussen, D. B., Christensen, J. M., Temel, B., Studt, F., Moses, P. G., Rossmeis, J., dan Jensen., A.D. 2016. Reaction Mechanism of Dimethyl Ether Carbonylation to Methyl Acetate over Mordenite-A combined DFT/Experimental Study. *Journal of Catalyst, Science and Technology*. 1-12.

- Ray, B. dan Das, G. 2020. *Process Equipment and Plant Design, Principles and Practices*. Cambridge: Elsevier, Inc
- Seputar Informasi Wilayah Kota Cilegon. 2021. Sejarah Kota Cilegon. (*Online*). [www.kotacilegon.com/2011/06/sejarah-kota-cilegon.html](http://www.kotacilegon.com/2011/06/sejarah-kota-cilegon.html). (Diakses pada Tanggal 28 April 2021).
- Sinnott, Ray., dan Towler, Gavin. 1999. *Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design Second Edition*. USA: Elsevier.
- Speight, J. G. 2019. *Hydrogen Production: Chapter 15*. New York: Elsevier Inc.
- Trambouze, P. 2000. *Material And Equipment*. Paris: Technip Editions.
- Treyball, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operations. 3th Edition*. New York: McGraw Hill.
- Tsuji, T., dan Kasuya, F. 1991. High Purity CO Gas Separation by Pressure Swing Adsorption. *Journal of Gas Separation Et Purification*. Vol. 5(1): 242-246.
- Ulrich, G. G. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. New York: John Wiley and Sons.
- Van, H. C., Ness, Smith, J. M., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics. 6th ed.* New York: McGraw Hill.
- Van Winkle, M. 1967. *Distillation*. New York: McGraw Hill.
- Visual Encyclopedia of Chemical Engineering. 2021. *Packed Bed Reactors*. USA: Collage of Engineering, Chemical Engineering, Michigan University.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Widodo, Hernowo., dan Maesaroh, E. 2016. Studi Kinetika Reaksi Metil Asetat Dari Asam Asetat Dan Methanol Dengan Variabel Waktu, Konsentrasi Katalis Dan Perbandingan Reaktan. *Jurnal Ilmiah WIDYA*. Vol. 3 (4): 28-34.
- Yaws, C. L. 1999. *Handbook Thermodinamic Diagrams, Vol. 2*. New York: McGraw Hill.
- Yaws, C. L. 2003. *Handbook Thermodinamic Diagrams*. New York: McGraw Hill.