

PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT
KAPASITAS 125.000 TON PER TAHUN



SKRIPSI

Dibuat untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mendapatkan
Gelar Sarjana Teknik Pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya

Oleh

UMI SEPTIYARANI	03031182126020
NABIL GYMNASTI	03031282126090

JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT KAPASITAS
125.000 TON / TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Oleh:

Umi Septiyarani

NIM. 03031182126020

Nabil Gymnasti

NIM. 03031282126090

Indralaya, 23 Juli 2025

Dosen Pembimbing Tugas Akhir,



Dr. Nina Haryani, S.T., M.T.

NIP. 198311152008122002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

NIP. 197402012000122001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas 125.000 Ton/Tahun” telah dipertahankan oleh Umi Septiyarani dan Nabil Gymnasti dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 16 Juli 2025. Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.
NIP. 198010312005011003

()

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

()

3. Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.
NIP. 199007112019032018

(^{21/7-25} )

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

Indralaya, 23 Juli 2025
Pembimbing Tugas Akhir



Dr. Nina Haryani, S.T., M.T.
NIP. 198311152008122002

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

UMI SEPTIYARANI

03031182126020

NABIL GYMNASTI

03031282126090

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT
KAPASITAS 125.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 16 Juli 2025 oleh Dosen Penguji:

1. Dr. Ir. David Bahrin, S.T., M.T.

NIP. 198010312005011003

()

2. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU

NIP. 195610241981032001

()

3. Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.

NIP. 199007112019032018

(^{21/7/25} )

Indralaya, 23 Juli 2025

Pembimbing Tugas Akhir

()

Dr. Nina Haryani, S.T., M.T.

NIP. 198311152008122002

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Umi Septiyarani
NIM : 03031182126020
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Asetat
Kapasitas 125.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Nabil Gymnasti 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 sistem yang berlaku.

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

Indralaya, 23 Juli 2025



Umi Septiyarani

NIM. 03031182126020



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nabil Gymnasti
NIM : 03031282126090
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Metil Asetat
Kapasitas 125.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Umi Septiyarani 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 sistem yang berlaku.

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

Indralaya, 23 Juli 2025



Nabil Gymnasti

NIM. 03031282126090

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Metil Asetat Kapasitas Produksi 125.000 Ton/Tahun”. Penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk mengikuti ujian sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Laporan tugas akhir ini terdiri dari 9 bab yang meliputi Pendahuluan, Perencanaan Pabrik, Lokasi dan Tata Letak Pabrik, Neraca Massa dan Neraca Panas, Utilitas, Spesifikasi Peralatan, Organisasi Perusahaan, Analisa Ekonomi dan Kesimpulan. Seluruh bab tersebut disusun untuk menggambarkan dan menganalisa kelayakan pabrik tersebut untuk didirikan dari berbagai aspek.

Dalam penyusunannya, penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini jauh dari sempurna dan memiliki banyak kekurangan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan dan kemampuan yang penulis miliki. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun demi perbaikan laporan tugas akhir ini. Semoga laporan tugas ini dapat bermanfaat bagi seluruh kalangan dan pihak yang membacanya.

Palembang, Juni 2025

Tim Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada proses penyusunan laporan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah membantu dalam berbagai hal. Bantuan baik moril maupun materi merupakan salah satu hal yang sangat membantu dan berkesan dalam penyusunan tugas akhir ini. Terimakasih kepada pihak-pihak tersebut terutama kepada:

- 1) Allah SWT, atas berkat, rahmat, nikmat, dan seluruh karunia-Nya baik dalam bentuk kelapangan hati dan pikiran serta kesehatan sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan.
- 2) Bapak Umar Hasan Kadir dan Ibu Ida Erwani selaku orang tua dari Umi Septiyarani yang telah memberikan kasih sayang, *support*, dan doa-doa setiap harinya. Terselesaikannya tugas akhir ini merupakan salah satu doa mereka yang Allah kabulkan.
- 3) Bapak Afriadi dan Ibu Ernika Cancerya selaku orang tua dari Nabil Gymnasti yang telah memberikan semangat serta dukungan moril, sehingga Tugas Akhir ini dapat berjalan dengan lancar.
- 4) Dr. Nina Haryani, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang selalu mendukung serta memberi arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
- 5) Keluarga tercinta yang telah memberikan dukungan dan kasih sayang tiada henti.
- 6) Bapak Riyadi selaku Pembimbing Kerja Praktek di PUSRI Periode Bulan Juli-September 2024 yang turut membantu dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini.
- 7) Santi, April, Asa, dan Intan selaku sahabat, penasehat, adik, kakak sekaligus keluarga atas segala bantuan, dukungan, semangat, saran, kasih sayang yang secara tidak langsung tergambarkan dan tersampaikan selama ini.
- 8) Taufik, Azra, Sasqia, Ina dan Najwa selaku sahabat, penasehat, adik, kakak sekaligus keluarga atas segala bantuan, dukungan, semangat, saran, kasih sayang yang secara tidak langsung tergambarkan dan tersampaikan selama ini.
- 9) Teman-teman dari ST 12 (Aliyak, Arjun, Cici, Farras, Habri, Kesya, Keyla, Naila, Ojak, Pina, dan Riska) atas dukungan, hiburan dan seluruh bantuan baik moril dan materi selama perkuliahan 8 semester ini.

- 9) Teman-teman seperjuangan Jurusan Teknik Kimia Angkatan 2021 Kampus Indralaya yang telah menjadi penunjang dan keluarga selama perkuliahan 8 semester ini, semoga tali silaturahmi yang kita miliki tetap terjalin sampai kapanpun.
- 15) Partner, yang telah dengan sabar dan bekerja keras bersama-sama mulai dari KP, RISET hingga Tugas Akhir, menyelesaikan laporan satu persatu. Sedikit demi sedikit melewati perjalanan panjang hingga akhirnya bersama-sama sampai di Sidang Tugas Akhir ini. Semoga apa yang telah dikerjakan bersama-sama menjadi berkah dan menjadi penghubung yang baik sehingga dilancarkan menuju dunia kerja nantinya.

Palembang, Juni 2025

Tim Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN METIL ASETAT 125.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Juni 2025

Umi Septiyarani dan Nabil Gymnasti

Dibimbing oleh Ibu Dr. Nina Haryani S.T., M.T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik pembuatan metil asetat dengan kapasitas produksi 125.000 ton/tahun direncanakan berdiri pada tahun 2030 di Jalan Amerika, Citangkil, Kota Cilegon, Provinsi Banten dengan luas 7,3 ha. Metil asetat yang diproduksi menggunakan bahan baku dimetil eter dan karbon monoksida menggunakan katalis H-MOR yang dimodifikasi dengan *pyridine* dalam *single fixed bed reactor* berdasarkan patent US20220144748A1. Reaksi berlangsung pada temperatur 300°C dengan tekanan 49,3462 atm. Pabrik direncanakan berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem struktur organisasi *line and staff*, dimana pelaksana harian dipimpin oleh direktur dengan jumlah karyawan sebanyak 121 orang. Pabrik metil asetat layak didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi:

- | | |
|--|-----------------------|
| a. Biaya Investasi | = US\$ 92.338.463,11 |
| b. Total Penjualan | = US\$ 215.163.229,93 |
| c. <i>Total Production Cost</i> (TPC) | = US\$ 144.556.135,48 |
| d. <i>Annual Cash Flow</i> | = US\$ 56.559.497,47 |
| e. <i>Pay Out Time</i> | = 1,520 tahun |
| f. <i>Rate of Return on Investment</i> (ROR) | = 53,53% |
| g. <i>Discounted Cash Flow</i> | = 60,93% |
| h. <i>Break Event Point</i> (BEP) | = 23,71% |
| i. <i>Service Life</i> | = 11 tahun |

Kata Kunci: Metil Asetat, *Single Fixed Bed Reactor*, Karbonilasi

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
RINGKASAN	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Produksi Metil Asetat	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik	3
1.4. Sifat Fisika dan Kimia	3
1.5. Proses Pembuatan Metil Asetat	5
1.6. Perbandingan Proses.....	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK	7
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	7
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi	8
2.3. Pemilihan Proses.....	11
2.4. Pemilihan Bahan Baku	11
2.5. Uraian Proses	12
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	14
3.1. Lokasi Pabrik.....	14
3.2. Tata Letak Pabrik.....	17
3.3. Kebutuhan Luas Pabrik	19
3.4. Pertimbangan Tata Letak Peralatan	20

BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	21
4.1. NERACA MASSA	21
4.2. NERACA PANAS.....	29
BAB V UTILITAS.....	37
5.1. Unit Pengadaan Steam.....	37
5.2. Unit Pengadaan Air	38
5.3. Unit Refrigeran	43
5.4. Unit Pengadaan Listrik	44
5.5. Unit Pengadaan Bahan Bakar	46
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN	48
6.1. ABSORBER-01 (ABS-01)	48
6.2. ACCUMULATOR-01 (ACC-01)	49
6.3. ADSORBER-01 (ADS-01)	50
6.4. KOMPRESOR-01 (K-01)	51
6.5. KOMPRESOR-02 (K-02)	52
6.6. EXPANDER-01 (EX-01).....	53
6.7. COOLER-01 (C-01).....	54
6.8. COOLER-02 (C-02)	55
6.9. COOLER-03 (C-03)	56
6.10. COOLER-04 (C-04)	57
6.11. COOLER-05 (C-05)	58
6.12. HEAT EXCHANGER-01 (HE-01)	59
6.13. KNOCK OUT DRUM-01 (KOD-01).....	60
6.14. KOLOM DISTILASI-01 (KD-01)	61
6.15. PARTIAL CONDENSER-01 (PC-01)	62
6.16. PARTIAL CONDENSER-02 (PC-02)	63
6.17. POMPA-01 (P-01).....	64
6.18. POMPA-02 (P-02).....	65
6.19. PRESSURE REDUCING VALVE-01 (PRV-01)	66
6.20. PRESSURE REDUCING VALVE-02 (PRV-02)	67
6.21. PRESSURE REDUCING VALVE-03 (PRV-03)	68
6.22. PRESSURE REDUCING VALVE-04 (PRV-04)	69

6.23. REAKTOR-01 (R-01)	70
6.24. REBOILER-01 (RB-01)	71
6.25. REBOILER-02 (RB-02)	72
6.26. STRIPPER-01 (STR-01)	73
6.27. TANGKI-01 (T-01)	74
6.28. TANGKI-02 (T-02)	75
6.29. TANGKI-03 (T-03)	76
6.30 TANGKI-04 (T-04)	77
6.31. VAPORIZER-01 (V-01)	78
6.32. WASTE HEAT BOILER-01 (WHB-01)	79
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN	80
7.1. Bentuk Perusahaan	80
7.2. Struktur Organisasi	81
7.3. Tugas dan Wewenang	82
7.4. Sistem Kerja	85
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan	87
BAB VIII ANALISA EKONOMI	92
8.1. Profitabilitas (Keuntungan)	93
8.2. Lama Waktu Pengembalian Modal	94
8.3. Total Modal Akhir	96
8.3. Laju Pengembalian Modal	97
8.4. Break Even Point (BEP)	98
BAB IX	101
KESIMPULAN	101
DAFTAR PUSTAKA	102
LAMPIRAN	105

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Sifat Fisika dan Kimia Bahan Baku Utama	4
Tabel 1. 2. Sifat Fisika dan Kimia Produk	4
Tabel 1. 3. Perbandingan Proses Esterifikasi dan Karbonilasi	6
Tabel 2. 1. Impor Metil Asetat di Indonesia	8
Tabel 2. 2. Data Supply Metil Asetat di Dunia	10
Tabel 3. 1. Luas Daerah Kompleks Pabrik	19
Tabel 5. 1. Peralatan dengan Kebutuhan Steam 200°C	37
Tabel 5. 2. Total Kebutuhan Steam	38
Tabel 5. 3. Kebutuhan Air Proses	39
Tabel 5. 4. Kebutuhan Air Pendingin	39
Tabel 5. 5. Kebutuhan Air Domestik	42
Tabel 5. 6. Total Kebutuhan Air dalam Pabrik	43
Tabel 5. 7. Kebutuhan Refrigeran	43
Tabel 5. 8. Kebutuhan Listrik Peralatan	44
Tabel 5. 9. Total Kebutuhan Listrik Pabrik Metil Asetat	45
Tabel 5. 10. Total Kebutuhan Bahan Bakar	47
Tabel 7. 1. Tugas dan Wewenang Tiap Jabatan	82
Tabel 7. 2. Pembagian Waktu Kerja Pekerja <i>Shift</i>	86
Tabel 7. 3. Perincian Jumlah Karyawan	88
Tabel 8. 1. Tabel Penjualan Produk	93
Tabel 8. 2. Angsuran Pengembalian Modal (US \$)	95
Tabel 8. 3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Blok Diagram Proses Esterifikasi Metil Asetat.....	5
Gambar 1. 2. Blok Diagram Proses Karbonilasi Pembuatan Metil Asetat	6
Gambar 2. 1. Data Impor Metil Asetat di Indonesia Tahun 2018-2024	9
Gambar 3. 1. Lokasi Pabrik Metil Asetat di Cilegon, Banten.....	14
Gambar 3. 2. Ruang Tata Letak Rencana Wilayah.....	15
Gambar 3. 3. Tata Letak Kompleks Pabrik.....	19
Gambar 3. 4. Tata Letak Peralatan Pabrik	20
Gambar 7. 1. Struktur Organisasi.....	91
Gambar 8. 1. Grafik <i>Break Even Point</i> Pabrik Metil Asetat.....	99

DAFTAR NOTASI

1. ABSORBER

A	= Cross section area tower, m ²
BM	= BM, kg/kmol
C _C	= Tebal korosi maksimum, in
D	= Diameter kolom, m
D _G , D _L	= Difusivitas gas dan liquid, m ² /s
E _j	= Efisiensi pengelasan
F _L , F _G	= Koefisien transfer massa gas dan liquid, kmol/m ² .s
G	= Kelajuan superfisial molar gas, kmol/m ² .s
G'	= Kelajuan superfisial gas, kmol/m ² .s
H _{tG}	= Tinggi unit transfer fase gas, m
H _{tL}	= Tinggi unit transfer fase liquid, m
H _{tog}	= Tinggi unit transfer overall, m
L	= Kelajuan liquid total, kg/m ² .s
L'	= Kelajuan superfisial massa liquid, kg/m ² .s
m	= Rasio distribusi kesetimbangan
P	= Tekanan desain, psi
S _{cg} , S _{cl}	= Bilangan Schmidt gas dan liquid
Z	= Tinggi packing, m
ΔP	= Perbedaan tekanan, N/m ²
ε	= Energi tarik menarik molecular
ε _{Lo}	= Fraksi volume liquid, m ³ /m ³
μ _G , μ _L	= Viskositas gas dan liquid, kg/ms
ρ _L , ρ _G	= Densitas gas dan liquid, kg/m ³
σ _L	= Tegangan permukaan liquid, N/m
φ _{lt}	= Total hold-up liquid

2. ACCUMULATOR

C	= Allowable corrosion, m
E	= Efisiensi pengelasan, dimensionless
ID, OD	= Diameter dalam, Diameter luar, m

L	= Panjang accumulator, m
P	= Tekanan operasi, atm
S	= Working stress yang diizinkan, atm
T	= Temperatur operasi, K
t	= Tebal dinding accumulator, m
V	= Volume total, m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
ρ	= Densitas, kg/m ³

3. HEAT EXCHANGER (COOLER, PARTIAL CONDENSER, REBOILER, VAPORIZER, DAN WASTE HEAT BOILER)

A	= Area perpindahan panas, ft ²
a _a , a _p	= Area pada annulus, inner pipe, ft ²
a''	= External surface per 1 in, ft ² /in ft
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	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam ft ² F
j _h	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam ft ² F
LMTD	= Logaritmic Mean Temperature Difference, °F
ID	= Inside Diameter, ft
OD	= Outside Diameter, ft
R _d	= Dirt factor, Btu/jam ft ² F
R _e	= Bilangan Reynold
s	= Spesific 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 coefisient, design overall coefisient, Btu/jam

	$\text{ft}^2 \text{ F}$
W	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
w	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= viskositas, cp

4. KNOCK OUT DRUM

Q_v	= Debit uap, ft^3/s
Q_l	= Debit liquid, ft^3/jam
$U_v \text{ max}$	= Kecepatan uap maksimum, ft/s
$A_{v \text{ min}}$	= Minimum vessel cross section, ft^2
D_{min}	= Diameter vessel minimum, m
L	= Ketinggian liquid, ft
V_s	= Volume shell, ft^3
V_h	= Volume head, ft^3
L	= Panjang vessel, m
r	= Jari-jari vessel, in
S	= Working stress allowable, psi
Ej	= Welding Joint Efisiensi
Cc	= Tebal korosi yang diizinkan, in
t_{shell}	= Tebal dinding, m
ID	= Inside diameter, m
OD	= Outside diameter, m

5. KOLOM DISTILASI

A	= Vessel area, m^2
A_a	= Active area, m^2
A_d	= Area downcomer, m^2
A_h	= Area, hole, m^2
A_n	= Area tower, m^2
C	= Faktor korosi yang diizinkan, m
C_{vo}	= Dry orifice coefficient, dimensionless
C_{sb}	= Kapasitas uap, m/det
D	= Diameter tower, m

D_s	= Designment space, m
E	= Joint efisiensi, dimensionless
E_o	= Overall tray pengelasan, dimensionless
e	= Total entrainment, kg/det
F	= Faktor flooding, dimensionless
F_{LV}	= Parameter aliran, dimensionless
f	= Faktor friksi
H	= Tinggi tower, m
HK	= Heavy Component
h_a	= Areated liquid drop, cm
h_f	= Height of froth, cm
h_{ow}	= Height liquid crast over weir, cm
h_w	= Tinggi weir, cm
L	= Tinggi liquid, m
LK	= Light component
P	= Tekanan desain, atm
Q	= Liquid bolumeterik flowrate, m/det
Q_v	= Vapor bolumeterik flowrate, m/det
R	= Rasio refluks, dimensionless
R_m	= Rasio refluks minimum
S	= Working stress, atm
S	= Plate teoritis pada aktual refluks
S_m	= Stage teoritis termasuk reboiler
U_v	= Vapour velocity, m/det
ρ_g	= Densitas gas, kg/m ³
ρ_l	= Densitas liquid, kg/m ³

6. KOMPRESOR DAN EXPANDER

C	= Kapasitas kompresor/expander, m ³ /menit
HP	= Kerja, hp
k	= Eksponen isentropik
N_s	= Jumlah <i>stage</i>

n	= Eksponen politropik
q_{fm}	= Umpan volumetrik, ft ³ /menit
P_1	= Tekanan masuk, bar
P_2	= Tekanan keluar, bar
T_1	= Temperatur masuk, °C
T_2	= Temperatur masuk, °C
W	= Laju alir massa, kg/jam
η_s	= Efisiensi isentropik, %
η_p	= Efisiensi politropik, %

7. POMPA

A	= Area alir pipa, in ²
ID	= Diameter optimum dalam pipa baja, in
Di_{opt}	= Diameter optimum pipa, in
G_c	= Percepatan gravitasi, ft/
$H_{f\text{ suc}}$	= Total friksi pada suction, ft
$H_{f\text{ dis}}$	= Total friksi pada Discharge, ft
H_d	= Discharge head, ft
H_s	= Suction head, ft
H_{fs}	= Friksi pada permukaan pipa, ft
H_{fc}	= Friksi karena kontraksi tiba-tiba, ft
K_c	= Contraction loss, ft
K_e	= Expansion loss, ft
L	= Panjang pipa, m
L_e	= Panjang ekivalen pipa, m
ΔP	= Total static head, ft
V_L	= Volume fluida, lb/jam
V	= Kecepatan alir, ft/det
W_s	= Work shaft, ftlbf/lbm
f	= Faktor friksi
ρ	= Densitas, lb/ft ³
μ	= Viskositas, cp

ε	= Ekivalen roughness, dimensionless
η	= Efisiensi, dimensionless

8. PRESSURE SWING ADSORBER

P	= Tekanan (bar)
T	= Temperatur ($^{\circ}\text{C}$)
Q_f	= Umpan masuk volumetrik (m^3/s)
W_f	= Laju aliran massa (kg/jam)
ρ_f	= Densitas (kg/m^3)
Q_A	= Umpan masuk volumetrik terserap (m^3/s)
W_A	= Laju aliran massa terserap (kg/jam)
ρ_A	= Densitas (kg/m^3)
V_V	= Volume vessel (m^3)
t	= Waktu (s)
ρ_p	= <i>Dry particle density</i> (kg/m^3)
m	= <i>Minimal adsorbent needed</i> (kg)
$V_{p,\text{wet}}$	= Wet packing volume (m^3)
$V_{p,\text{dry}}$	= Dry packing volume (m^3)
V_s	= Volume silinder (m^3)
D	= Diameter (m)
H	= Tinggi (m)
r	= Jari-jari (m)
S	= <i>Working stress</i> (psi)
E	= <i>Welding joint efficiency</i>
C	= <i>Corrosion allowance</i> (in)
t_{silinder}	= Tebal silinder (m)
t_{head}	= Tebal head (m)
OD	= <i>Outside diameter</i> (m)

9. REAKTOR

Q	= Laju volumetrik, m^3/jam
σ	= Konstanta <i>Lennard-Jones</i>
N	= Bilangan Avogadro, mol^{-1}
k_b	= Konstanta Boltzman, $\text{m}^2.\text{kg}/\text{s}^2.\text{K}$

T	= Temperatur Reaksi, K
M	= Berat Molekul, kg/kmol
E	= Energi Aktivasi, kJ/kmol
R	= Konstanta Gas Ideal, kJ/kmol K
C	= Konsentrasi Reaktan
H _s	= Tinggi silinder, m
H _h	= Tinggi head reaktor, m
H _t	= Tinggi total reaktor, m
V _h	= Volume head reaktor, m ³
ts	= Ketebalan Shell tangki, in
P	= Tekanan dalam, psig
r _i	= Jari-jari dalam, in
S	= Tekanan Maksimum Material Carbon Steel, psi
E _j	= Efisiensi hubungan
C _c	= Ketebalan Korosi yang diperbolehkan, in
OD	= Outside diameter, m
ID	= Inside diameter, m

10. STRIPPER

A	= Cross section area tower, m ²
BM	= BM, kg/kmol
C _c	= Tebal korosi maksimum, in
D	= Diameter kolom, m
D _G , D _L	= Difusivitas gas dan liquid, m ² /s
E _j	= Efisiensi pengelasan
F _L , F _G	= Koefisien transfer massa gas dan liquid, kmol/m ² .s
G	= Kelajuan superfisial molar gas, kmol/m ² .s
G'	= Kelajuan superfisial gas, kmol/m ² .s
H _{tG}	= Tinggi unit transfer fase gas, m
H _{tL}	= Tinggi unit transfer fase liquid, m
H _{tog}	= Tinggi unit transfer overall, m
L	= Kelajuan liquid total, kg/m ² .s
L'	= Kelajuan superfisial massa liquid, kg/m ² .s

m	= Rasio distribusi kesetimbangan
P	= Tekanan desain, psi
S_{cg}, S_{cl}	= Bilangan Schmidt gas dan liquid
Z	= Tinggi packing, m
ΔP	= Perbedaan tekanan, N/m ²
ε	= Energi tarik menarik molekular
ε_{Lo}	= Fraksi volume liquid, m ² /m ³
μ_G, μ_L	= Viskositas gas dan liquid, kg/ms
ρ_L, ρ_G	= Densitas gas dan liquid, kg/m ³
σ_L	= Tegangan permukaan liquid, N/m
ϕ_{lt}	= Total hold-up liquid

11. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan, m
D_T	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
H_s	= Tinggi silinder, m
H_T	= Tinggi tangki, m
h	= Tinggi head, m
P	= Tekanan operasi, atm
S	= Working stress yang diizinkan, atm
t	= Tebal dinding tangki, m
V_s	= Volume silinder, m ³
V_e	= Volume elipsoidal, m ³
V_t	= Volume tangki, m ³

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA.....	105
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	159
LAMPIRAN III PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT	234
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	431
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS.....	447

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Metil asetat adalah ester organik dengan rumus kimia $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$ yang memiliki banyak aplikasi penting dalam industri, termasuk sebagai pelarut dalam pembuatan cat, tinta, pelapis, perekat, dan produk farmasi. Selain itu, Senyawa ini hanya sedikit larut dalam air, namun menjadi lebih larut dengan suhu tinggi. Senyawa ini pada sebagian industri kimia biasa digunakan sebagai *solvent* (pelarut), karena senyawa ini memiliki titik didih yang relatif rendah (Pramono dan Wibowo, 2020). Dalam konteks produksi yang berkelanjutan, metil asetat dapat diproduksi melalui berbagai jalur kimia, salah satunya adalah karbonilasi dimetil eter (DME). Proses karbonilasi DME melibatkan reaksi antara DME dan karbon monoksida (CO) menggunakan katalis heterogen. Katalis yang sering digunakan dalam proses ini adalah berbasis zeolit H-Mordenit (H-MOR), yang menunjukkan aktivitas dan selektivitas tinggi terhadap metil asetat (Wang dkk, 2019).

Pada jalur ini, DME diadsorpsi ke permukaan katalis, membentuk metoksida aktif yang kemudian bereaksi dengan CO untuk menghasilkan metil asetat. Reaksi ini berlangsung pada tekanan tinggi (umumnya 5–10 MPa) dan suhu sekitar 250–350°C (US11046633B2). Selain selektivitas yang tinggi terhadap produk utama, karbonilasi DME memiliki keuntungan lain, yaitu fleksibilitas sumber bahan baku. DME dapat dihasilkan dari gas sintesis (*syngas*) yang diperoleh melalui reformasi gas alam, batubara, atau biomassa. Hal ini membuat proses ini menjadi pilihan yang berkelanjutan untuk memanfaatkan sumber daya karbon yang melimpah (Fadhilla dan Sinaga, 2023).

Meskipun demikian, tantangan seperti deaktivasi katalis akibat karbonisasi dan kontrol kondisi operasi masih menjadi fokus penelitian. Berbagai inovasi sedang dikembangkan, termasuk penggunaan katalis berbasis logam transisi atau modifikasi struktur zeolit, untuk meningkatkan stabilitas dan efisiensi proses karbonilasi (Wang dkk, 2019). Di Indonesia, kebutuhan metil asetat masih dipenuhi melalui impor. Volume impor metil asetat pada tahun 2024 yaitu sebesar 155.023 Ton yang dimana merupakan volume impor terbesar dari tahun-tahun sebelumnya (Trade Map ITC, 2024). Hal ini disebabkan belum adanya pabrik

produksi berskala besar yang memanfaatkan teknologi mutakhir seperti karbonilasi DME di Indonesia. Dengan potensi besar sebagai pelarut industri dan bahan kimia *intermediate*, pengembangan fasilitas produksi metil asetat domestik berbasis karbonilasi DME, dapat menjadi langkah yang strategis untuk mengurangi ketergantungan impor, dan mendukung pertumbuhan industri kimia nasional.

1.2. Sejarah dan Perkembangan Proses Produksi Metil Asetat

Metil asetat pertama kali ditemukan pada abad ke-19 melalui eksperimen esterifikasi yang melibatkan reaksi antara metanol dan asam asetat. Esterifikasi merupakan proses penting dalam kimia organik dan industri, terutama untuk sintesis gugus fungsi ester yang digunakan dalam obat-obatan, bahan wewangian, rasa, dan senyawa aktif biologis. Metode klasik seperti esterifikasi Fischer-Speier, yang pertama kali dilaporkan pada tahun 1895, menggunakan katalis asam seperti HCl atau H₂SO₄ (Jordan dkk, 2021). Proses ini dikembangkan sebagai cara untuk menghasilkan ester yang mudah menguap, yang kemudian digunakan sebagai pelarut dalam berbagai aplikasi industri. Namun, produksi skala besar metil asetat baru dimulai pada abad ke-20 ketika kemajuan dalam teknologi kimia memungkinkan produksi secara industri dengan efisiensi yang lebih tinggi. Pada awal abad ke-20, proses esterifikasi metanol dan asam asetat menjadi cara utama untuk memproduksi metil asetat (Pratama dan Wibowo, 2020). Proses ini dilakukan dengan mereaksikan asam asetat dan metanol dengan menggunakan katalis asam kuat sehingga terbentuknya metil asetat (Pambudi dan Wibowo, 2019).

Seiring dengan berkembangnya teknologi kimia dan meningkatnya permintaan akan metil asetat sebagai pelarut dan bahan kimia, metode baru mulai dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan proses. Salah satu inovasi utama dalam produksi metil asetat adalah proses karbonilasi DME, yang melibatkan reaksi DME dengan CO di bawah kondisi katalitik. Penelitian awal tentang karbonilasi dilakukan oleh W. Reppe di BASF pada tahun 1930-an dan 1940-an, yang juga memperkenalkan istilah karbonilasi (Beller dan Wu, 2013). Istilah ini merujuk pada berbagai reaksi kimia yang melibatkan penggabungan molekul CO ke dalam substrat, baik melalui penyisipan CO ke dalam ikatan yang sudah ada maupun melalui penambahan CO ke senyawa tak jenuh. Sejak saat itu, reaksi karbonilasi telah menjadi sangat penting dalam industri. Adapun sumber

CO yang dapat digunakan diantaranya yaitu gas CO, Molibdenum Heksakarbonil ($\text{Mo}(\text{CO})_6$), Kobalt Heksakarbonil ($\text{Co}(\text{CO})_6$), asam format, aldehida, dan lainnya.

Proses karbonilasi DME ini memungkinkan produksi metil asetat dengan bahan baku yang lebih murah dan dampak lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan proses esterifikasi tradisional. Teknologi ini semakin banyak diterapkan pada pabrik-pabrik kimia global, karena dapat meningkatkan hasil dan mengurangi konsumsi energi. Seiring berjalannya waktu, metil asetat semakin digunakan dalam berbagai industri, termasuk industri pelarut, perekat, dan bahan bakar. Keuntungan dari metil asetat, seperti titik didih rendah dan sifat pelarut yang baik, membuatnya sangat berguna dalam formulasi produk-produk kimia yang lebih efisien. Produksi metil asetat juga semakin dipermudah dengan penggunaan katalis padat, seperti yang diterapkan dalam karbonilasi DME.

Di Indonesia, meskipun permintaan untuk metil asetat terus meningkat, produksi domestik metil asetat masih terbatas, yang dimana kebutuhan keseluruhan masih dipenuhi melalui impor. Seperti yang diketahui, bahwa belum ada pabrik yang memproduksi metil asetat di Indonesia. Seiring berkembangnya industri kimia Indonesia, ada peluang besar untuk membangun fasilitas produksi metil asetat yang dapat mengurangi ketergantungan pada impor dan meningkatkan kemandirian industri kimia serta meningkatkan sektor ekonomi nasional.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik

Pendirian pabrik metil asetat di Indonesia bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan memperkuat industri kimia domestik. Dengan memproduksi metil asetat secara lokal, pabrik ini dapat memenuhi kebutuhan industri yang semakin meningkat, seperti sektor pelarut, cat, dan perekat. Selain itu, keberadaan pabrik ini diharapkan dapat menciptakan lapangan kerja baru, mendorong kemajuan teknologi, dan meningkatkan daya saing produk-produk Indonesia di pasar global. Pabrik ini juga akan berkontribusi pada perekonomian lokal melalui penciptaan nilai tambah dan pengembangan sektor manufaktur, yang pada gilirannya mendukung pertumbuhan ekonomi nasional.

1.4. Sifat Fisika dan Kimia

Berikut ini dijabarkan mengenai sifat fisik dan sifat kimia senyawa-senyawa dalam proses pembuatan metil asetat:

1.4.1. Bahan Baku

Bahan baku DME yang digunakan diperoleh dari PT Bumi Tangerang Gas Industri dan gas CO diperoleh dari PT Samator Gas Industri. **Tabel 1.1.** berikut ini merupakan penjabaran sifat fisik dan kimia dari bahan baku yang digunakan.

Tabel 1. 1. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Bahan Baku Utama

Parameter	Dimetil Eter	Karbon Monoksida
Rumus molekul	CH_3OCH_3	CO
Wujud fisik (25°C)	Gas	Gas
Warna	<i>Colourless</i>	<i>Colourless</i>
Berat molekul, kg/kmol	46,07	28,010
Densitas, kg/m^3	1,617	0,97
Titik didih, °C	-24,82	-191,45
Titik lebur, °C	-138,5	-198,889
Titik kritis, °C	126,95	-140,23
Tekanan kritis, bar	53,70	34,99
Bahaya	<i>Flammable, compressed gas</i>	<i>Flammable, compressed gas, toxic, health hazard</i>
Kelarutan	Larut dalam 46 g/L air dan pelarut organik	Larut dalam benzena, dan sedikit larut dalam air

(Sumber: Yaws, 1999; Pubchem, 2024)

1.4.2. Produk

Tabel 1.2. di bawah merupakan perincian dari sifat fisika dan sifat kimia dari produk metil asetat yang akan diproduksi.

Tabel 1. 2. Sifat Fisika dan Sifat Kimia Produk

Parameter	Metil Asetat
Rumus molekul	$\text{CH}_3\text{COOCH}_3$
Bentuk fisik (25°C)	Liquid
Warna	<i>Colourless</i>
Berat molekul, kg/kmol	74,08
Densitas, kg/m^3	0,927

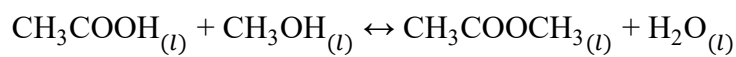
Titik didih, °C	56,94
Titik lebur, °C	-97,78
Titik kritis, °C	233,65
Tekanan kritis, bar	46,90
Bahaya	<i>Flammable, irritant</i>
Kelarutan	Sangat larut dalam etil eter dan etanol

(Sumber: Yaws, 1999; Pubchem, 2024)

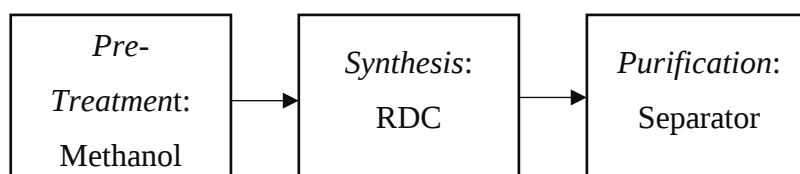
1.5. Proses Pembuatan Metil Asetat

1.5.1. Esterifikasi

Reaksi esterifikasi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pembuatan metil asetat. Reaksi ini melibatkan asam asetat dan metanol. Produk dari reaksi ini adalah metil asetat yang termasuk bagian dari kelompok ester (Hapsari, dan Wibowo, 2020). Reaksi esterifikasi yang terjadi dalam proses pembuatan metil asetat adalah sebagai berikut.



Reaksi esterifikasi merupakan reaksi *reversible* sehingga konversi limiting reaktan ditentukan melalui kesetimbangan. Laju reaksi yang terjadi sangat lambat dan dibutuhkan katalis untuk mempercepat laju reaksi. Katalis yang digunakan adalah resin asam. Rentang kondisi operasi seperti temperatur adalah 70°C dan dengan tekanan 100 kPa (CN116271905A). **Gambar 1.1.** berikut merupakan blok diagram dari proses pembuatan metil asetat.

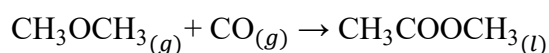


Gambar 1. 1. Blok Diagram Proses Esterifikasi Metil Asetat

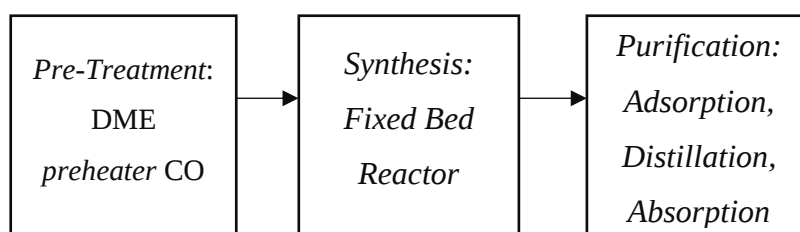
1.5.2. Karbonilasi

Reaksi karbonilasi adalah reaksi kimia yang melibatkan CO dengan gugus fungsi yang mengandung oksigen untuk menghasilkan senyawa organik. Metode karbonilasi menggunakan bahan baku DME dan CO untuk membentuk metil asetat.

DME akan bereaksi dengan CO melalui katalis zeolit, dan atau katalis logam transisi untuk meningkatkan konversi. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut.



Reaksi ini memerlukan temperatur yang tinggi dengan rentang 250-350°C. Tekanan operasi pada reaksi ini yaitu pada rentang 0,5–20 MPa. Katalis yang digunakan pada reaksi ini adalah katalis zeolit. Jenis reaktor yang digunakan dapat berupa *fixed bed*, *fluidized*, dan *moving bed*. Selektivitas yang tinggi membuat produk samping yang terbentuk sangat kecil yaitu dengan selektivitas metil asetat yang mencapai 99,9%. Konversi CO pada proses ini berdasarkan patent US20220144748A1 dapat mencapai 98,8%.



Gambar 1. 2. Blok Diagram Proses Karbonilasi Pembuatan Metil Asetat

1.6. Perbandingan Proses

Berikut ini dijelaskan mengenai perbandingan proses antara esterifikasi dan karbonilasi dalam pembuatan metil asetat di dalam **Tabel 1.3**.

Tabel 1. 3. Perbandingan Proses Esterifikasi dan Karbonilasi

Jenis Proses	Esterifikasi	Karbonilasi
Bahan Baku	CH ₃ OH	CH ₃ OCH ₃
	CH ₃ COOH	CO
Temperatur	60-70°C	250-350°C
Tekanan	0,1 MPa	0,5-20 MPa
Konversi	99%	98,8%
Selektivitas	-	99%
Kelebihan	Kondisi operasi rendah, dan konversi tinggi.	Konversi dan selektivitas tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Beller, M. Wu, X. F. 2013. *Transition Metal Catalyzed Carbonylation Reactions*. London: Springer.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F. 1983. *Chemical Engineering, Vol. 6, 3rd Edition*. Oxford: Pergamon Press.
- Coulson, J.M. dan Richardson, J.F. 2005. *Chemical Engineering, Vol. 6, 4th Edition*. Oxford: Pergamon Press.
- Fadhilla, P. N. dan Nazarudin, S. 2023. Peranan Gasifikasi Batubara Menjadi Dimetil Eter (DME) dalam Bauran Energi Baru dan Kontribusinya pada Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*. Vol. 4(2): 18-31.
- Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Ghosh, D. Biswas, D. dan Datta, A. 2024. Absorption Height in Spray Tower for Wet-Limestone Process in Flue Gas Desulphurization. *Materials Today: Proceedings*. Kolkata, 18 Februari 2024: Hal 1-6.
- Goodfellow, H. D. dan Wang, Y. 2021. *Industrial Ventilation Design Guidebook: Volume 2: Engineering Design and Applications*. Academic press.
- Ismail, S. 2002. *Alat Industri Kimia*. Palembang: Universitas Sriwijaya.
- Jordan, A. Whymark, K. D. Sydenham, J. dan Sneddon, H. F. 2021. A Solvent-Reagent Selection Guide for Steglich-Type Esterification of Carboxylic Acids. *Green Chemistry*. Vol. 23(17): 6405-6413.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering, 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Ludwig, dan Ernest E. 1991. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume I, 2nd Edition*. Houston: Gulf Publishing Company Book Division.
- Maritsa, N. N. dan Irfan, Z. 2025. Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pra Rancangan Pabrik Kimia Pembuatan Alpha Terpineol dari Terpentin. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 11(1): 191-200.

- Pambudi, L. K. dan Wibowo, A. A. 2020. Studi Kasus Pengaruh Tekanan Feed pada Pre-Pressure Swing Distillation Metil Asetat Berbasis Chemcad. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 6(2): 103-110.
- Perry, R.H. dan Green, D.W. 1997. *Chemical Engineers' Handbook*, 7th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Perry, R.H. dan Green, D.W. 2008. *Chemical Engineers' Handbook*, 8th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, 4th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Peters, M. S. Timmerhaus, K. D. dan West, R. E. 2003. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* 5th Edition. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Pramono, N. A. Z. E. dan Wibowo, A. A. 2020. Simulasi Pengaruh Feed Tray pada Pre-Kolom Distilasi Ekstraktif dalam Proses Pemurnian Metil Asetat Menggunakan Chemcad. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 6(2): 265-270.
- Pratama, B. A. dan Wibowo, A. A. 2020. Simulasi Pengaruh Performa Reaktor Esterifikasi Metil Asetat Terhadap Nilai Fouling Factor Preheater Kolom Distilasi. *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*. Vol. 6(2): 249-253.
- Robiah, R., Renaldi, U. dan Melani, A. 2021. Kajian Pengaruh Laju Alir NaOH dan Waktu Kontak terhadap Absorpsi Gas CO₂ Menggunakan Alat Absorber Tipe Sieve Tray. *Jurnal Distilasi*. Vol. 6(2): 27-35.
- Sinnott, R. K. 2005. *Chemical Engineering Design*, 4th Edition. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J.M. dan H. C. Van Ness. 2014. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 8th Edition. New York: Mc Graw-Hill Book Company.
- Syukran, M. Agustang, A. Idkhan, A. M. dan Rifdan, R. 2022. Konsep Organisasi dan Pengorganisasian dalam Perwujudan Kepentingan Manusia. *Publik*. Vol. 9(1): 95-103.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations*. New York: McGraw-Hill Book Company.

- Vasiliev, P. D. Sidyagin, A. A. Stepykin, A. V. Kosyrev, V. M. dan Bukharov, D. M. 2023. Trends and Prospects in the Development of Gas-Lift and Bubble Equipment Designs. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. Vol. 57(4): 745-753.
- Vilbrandt, F. C. dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Walas, S.M. 1990. *Chemical Process Equipment*. USA: Butterworth-Heinemann.
- Wang, H. Wu, Z. Tai, Z. Pei, R. dan Ren, X. 2019. Advances in Synthesis of Anhydrous Ethanol from Syngas Via Carbonylation of Dimethyl Ether and Hydrogenation of Methyl Acetate. *Chemical Industry and Engineering Progress*. Vol. 38(10): 4497.
- Winkle, M.V. 1967. *Distillation*. New York: McGraw Hill Book Company.
- Yaws, C. L. 1999. *Thermodynamics and Physical Properties Data*. Singapore: McGraw Hill Book Company.