

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN VINIL ASETAT MONOMER
KAPASITAS 20.000 METRIK TON PER TAHUN**



SKRIPSI

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

A. PRIMA DANI

(03031182025010)

ARISTYA FAHRIZUL

(03031282025068)

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN VINILASETAT MONOMER
KAPASITAS 20.000 METRIK TON PER TAHUN**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana
Teknik**

Kimia pada Universitas Sriwijaya

Oleh :

A. Prima Dani	03031182025010
Aristya Fahrizul	03031282025068

Palembang, November 2024

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA

NIP. 195805141984031001

Mengetahui,




Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Vinil Asetat Monomer Kapasitas 20.000 Metrik Ton per Tahun" telah dipertahankan oleh A. Prima Dani dan Aristya Fahrizul dihadapan Tim Penguji Sidang Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024. Dengan ini menyatakan bahwa :


1. Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T., IPM
NIP. 197808222002122001 ()
2. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197505112000122001 ()
3. Ir. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 199001272023212033 ()

Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

Indralaya, November 2024
Pembimbing Tugas Akhir


Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA
NIP. 195805141984031001

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

A. Prima Dani **03031182025010**
Aristya Fahrizul **03031282025068**

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN VINIL ASETAT
MONOMER KAPASITAS 20.000 MT/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024 oleh Dosen Penguji:

1. Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T., IPM
NIP. 197808222002122001

()

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

()

3. Ir. Bazlina Dawami Afrah, S.T., M.T., M.Eng
NIP. 199001272023212033

()

Indralaya, November 2024

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir



Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA

NIP. 195805141984031001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : A. Prima Dani
NIM : 03031182025010
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Vinil Asetat Monomer
Kapasitas 20.000 Metrik Ton per Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya 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 paksaan dari siapapun.

Indralaya, November 2024



A. Prima Dani

NIM. 03031182025010



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aristya Fahrizul
NIM : 03031282025068
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Vinil Asetat Monomer
Kapasitas 20.000 Metrik Ton per Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya 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 paksaan dari siapapun.

Indralaya, November 2024



Aristya Fahrizul

NIM. 03031282025068



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran ALLAH Subhanahu Wa Ta'ala berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya tugas akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Vinil Asetat Monomer Kapasitas 20.000 Metrik Ton per Tahun” dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini ditulis dengan tujuan sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik pada Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Tugas akhir ini dapat selesai dengan baik berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik berupa moral maupun materi. Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis ucapkan kepada:

- 1) Kedua Orang tua penulis yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk dorongan, perhatian dan kasih sayang serta doa demi kelancaran penyelesaian tugas akhir ini.
- 2) Bapak Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA sebagai pembimbing tugas akhir.
- 3) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu Dr. Fitri Hadiah, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 5) Bapak Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM dan Ibu Prof. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D, IPM sebagai pembimbing akademik penulis.
- 6) Seluruf Staff administrasi Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 7) Rekan-rekan seperjuangan Angkatan 2020 yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Palembang, November 2024

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN VINIL ASETAT MONOMER KAPASITAS 20.000 METRIK TON PER TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, November 2024

A. Prima Dani; Aristya Fahrizul

Dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. M. Faizal, DEA

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

ABSTRAK

Pabrik pembuatan vinil asetat monomer dengan kapasitas 20.000 ton/tahun direncanakan berdiri pada tahun 2030 di Kabupaten Kendal, Jawa Tengah, Indonesia dengan luas area sebesar 10 Ha. Bahan baku pembuatan vinil asetat monomer adalah oksigen, etana dan asam asetat. Proses pembuatan vinil asetat monomer dalam pra-rancangan ini mengacu pada Patent No. US 2021/0040018 A1 dengan proses reaksi oksidatif dehidrogenasi etana. Reaktor yang digunakan dalam proses pembuatan produk vinil asetat monomer adalah *Fixed Catalyst Bed Reactor*. Pabrik pembuatan vinil asetat monomer ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan menggunakan sistem organisasi *Line and Staff*, jumlah karyawan yang bekerja yaitu 135 orang yang dipimpin oleh satu Direktur utama. Berdasarkan analisis ekonomi yang telah dilakukan, pabrik vinil asetat monomer ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi parameter ekonomi sebagai berikut:

- a) *Total Capital Investment* = US\$ 162.325.183,43
- b) *Selling Price per Year* = US\$ 260.307.960,65
- c) *Total Production Cost* = US\$ 151.138.786,03
- d) *Annual Cash Flow* = US\$ 97.695.265,83
- e) *Pay Out Time* = 1,8260 tahun
- f) *Rate of Return* = 52,4576%
- g) *Discounted Cash Flow* = 59,68%
- h) *Break Even Point* = 36,25%
- i) *Service Life* = 11 tahun

Kata Kunci: Oksidatif Dehidrogenasi Etana, *Fixed Catalyst Bed Reactor*, Vinil Asetat Monomer

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERBAIKAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
RINGKASAN.....	vii
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR NOTASI.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
BAB I PEMBAHASAN UMUM.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Sejarah dan Perkembangan.....	2
1.3 Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik.....	3
1.4 Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer.....	4
1.5 Sifat Fisik dan Kimia.....	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK.....	11
2.1 Alasan Pendirian Pabrik.....	11
2.2 Pemilihan Kapasitas.....	12
2.3 Pemilihan Proses.....	15
2.4 Pemilihan Bahan Baku.....	15
2.5 Uraian Proses.....	15
BAB III TATA LETAK DAN LOKASI PABRIK.....	20
3.1 Lokasi Pabrik.....	20
3.2 Tata Letak Pabrik.....	25
3.3 Luas Area Pabrik.....	28
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS.....	29
4.1 Neraca Massa.....	29
4.2 Neraca Panas.....	44

BAB V UTILITAS.....	59
5.1 Unit Penyediaan Listrik.....	59
5.2 Unit Penyediaan Steam.....	62
5.3 Unit Penyediaan Air.....	62
5.4 Unit Penyediaan Bahan Bakar.....	68
5.5 Unit Penyediaan <i>Refrigerant</i>	70
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN.....	71
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN.....	138
7.1 Bentuk Perusahaan.....	138
7.2 Struktur Organisasi.....	140
7.3 Tugas dan Tanggung Jawab.....	141
7.4 Status Karyawan dan Sistem Penggajian.....	146
7.5 Sistem Kerja.....	146
7.6 Penentuan Jumlah Karyawan.....	148
7.7 Penggolongan Jabatan.....	151
BAB VIII ANALISA EKONOMI.....	155
8.1 Keuntungan (Profitabilitas).....	156
8.2 Lama Waktu Pengembalian Modal.....	157
8.3 Total Modal Akhir.....	159
8.4 Laju Pengembalian Modal.....	161
8.5 <i>Break Even Point</i> (BEP).....	163
BAB IX KESIMPULAN.....	166
DAFTAR PUSTAKA.....	167
LAMPIRAN.....	172

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Perbandingan Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer.....	5
Tabel 2.1	Data Impor Vinil Asetat Monomer.....	12
Tabel 2.2	Data Ekspor Vinil Asetat Monomer.....	13
Tabel 3.1	Data Pabrik Konsumen Vinil Asetat Monomer.....	22
Tabel 5.1	Total Kebutuhan Bahan Penunjang di Unit Utilitas.....	59
Tabel 5.2	Kebutuhan Listrik Peralatan.....	59
Tabel 5.3	Kebutuhan Steam Peralatan.....	62
Tabel 5.4	Kebutuhan Air Pendingin Peralatan.....	63
Tabel 5.5	Total Kebutuhan Air.....	68
Tabel 5.6	Total Kebutuhan Bahan Bakar.....	70
Tabel 5.7	Kebutuhan <i>Refrigerant</i>	70
Tabel 7.1	Pembagian Jam Kerja Pekerja Shift.....	148
Tabel 7.2	Perincian Jumlah Karyawan.....	150
Tabel 7.3	Perincian Tingkat Pendidikan.....	151
Tabel 8.1	Angsuran Pengembalian Modal.....	159
Tabel 8.2	Kesimpulan Analisa Ekonomi.....	165

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Peta Lokasi Pabrik.....	20
Gambar 3.2	Peta Jarak Antara Lokasi Pabrik dan PT Samator Gas Indo.....	21
Gambar 3.3	Peta Jarak Antara Lokasi Pabrik dan PT Indo Acidatama Tbk.....	22
Gambar 3.4	Tata Letak Peralatan Pabrik.....	26
Gambar 3.5	Tata Letak Pabrik Vinil Asetat Monomer.....	27
Gambar 7.1	Struktur Organisasi Perusahaan.....	154
Gambar 8.1	Grafik <i>Break Even Point</i>	163

DAFTAR NOTASI

1. Absorber dan Desorber

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
Sc _g , Sc _l	=	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 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

2. Accumulator

C _c	=	Tebal korosi maksimum, in
E _j	=	Efisiensi pengelasan

ID, OD	=	Diameter dalam, diameter luar, m
L	=	Panjang accumulator, m
P	=	Tekanan desain, psi
S	=	Tegangan kerja yang diizinkan, psi
T	=	Temperatur operasi, °C
t	=	Tebal dinding accumulator, cm
V	=	Volume total, m ³
V _S	=	Volume silinder, m ³
ρ	=	Densitas, kg/m ³

3. Furnace

a"	=	<i>External surface tube</i> (ft ² /ft)
A _{cp}	=	<i>Equivalent cold plane surface</i> (ft ²)
A _{cps}	=	<i>Cold plate area shield tube</i> (ft ²)
A _{cpw}	=	<i>Cold plate area tube wall</i> (ft ²)
A _r	=	Luas permukaan radiant (ft ²)
A _{rt}	=	Luas area <i>radiant section</i> (ft ²)
A _t	=	Luas per <i>tube</i> (ft ²)
F	=	Faktor perpindahan panas
H	=	Tinggi total <i>radiant section</i> (ft)
h _{atap}	=	Tinggi atap (ft)
L	=	Panjang <i>tube</i> (ft)
l _{atap}	=	Lebar bagian atap (ft)
L _{beam}	=	Mean beam length (ft)
L _r	=	<i>Total exposed radiant length</i> (ft)
l _r	=	Lebar <i>radiant section</i> (ft)
l _s	=	Lebar bagian <i>shield</i> (ft)
m	=	<i>Center to center</i> (in)
N _t	=	Jumlah <i>tube</i>
OD	=	<i>Outside diameter tube</i> (in)
Q	=	Beban panas (Btu/jam)
q _{g2}	=	Panas yang terkandung dalam gas (Btu/jam)

Q_{konveksi}	=	Panas konveksi (Btu/jam)
q_L	=	Panas yang hilang pada <i>tube</i> (Btu/jam)
q_n	=	<i>Net heat release</i> (Btu/jam)
q_r	=	<i>Radiant duty</i> (Btu/jam)
T_b	=	Tinggi <i>burner</i> ke <i>tube</i> (ft)
$T_{\text{crossover}}$	=	Temperatur <i>crossover</i> (°F)
T_f	=	Temperatur rata-rata fluida (°F)
T_t	=	Temperatur rata-rata dinding (°F)
V_f	=	Volume <i>furnace</i> (ft ³)
ε	=	Emisivitas gas
η	=	Efisiensi <i>furnace</i>

4. Heat Exchanger (Condenser, Cooler, Heater, Reboiler, Partial Condensor, Vaporizer)

W, w	=	Laju alir massa di shell, tube, kg/jam
T_1, t_1	=	Temperatur masuk shell, tube, °C
T_2, t_2	=	Temperatur keluar shell, tube, °C
Q	=	Beban panas, kW
U_o	=	Koefisien overall perpindahan panas, W/m ² .°C
ΔT_{lm}	=	Selisih log mean temperatur, °C
A	=	Luas area perpindahan panas, m ²
ID	=	Diameter dalam tube, m
OD	=	Diameter luar tube, m
L	=	Panjang tube, m
p_t	=	Tube pitch, m
A_o	=	Luas satu buah tube, m ²
N_t	=	Jumlah tube, buah
V, v	=	Laju alir volumetrik shell, tube, m ³ /jam
u_t, U_s	=	Kelajuan fluida shell, tube, m/s
Db	=	Diameter bundel, m
D_s	=	Diameter shell, m
N_{RE}	=	Bilangan Reynold

N_{PR}	=	Bilangan Prandtl
N_{NU}	=	Bilangan Nusselt
h_i, h_o	=	Koefisien perpindahan panas shell, tube, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
I_b	=	Jarak baffle, m
D_e	=	Diameter ekivalen, m
k_f	=	Konduktivitas termal, $W/m \cdot ^\circ C$
ρ	=	Densitas, kg/m^3
μ	=	Viskositas, cP
C_p	=	Panas spesifik, $kJ/kg \cdot ^\circ C$
h_{id}, h_{od}	=	Koefisien dirt factor shell, tube, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
k_w	=	Konduktivitas bahan, $W/m \cdot ^\circ C$
ΔP	=	Pressure drop, psi

5. Kompresor dan Expander

BHP	=	Brake Horse Power, power yang dibutuhkan, HP
k	=	Konstanta Kompresi
n	=	Jumlah stage
η	=	Efisiensi kompresor
P_{IN}	=	Tekanan masuk, bar
P_{OUT}	=	Tekanan keluar, bar
T_1	=	Temperatur masuk kompresor, $^\circ C$
T_2	=	Temperatur keluar kompresor, $^\circ C$
P_w	=	Power kompresor, HP
Q	=	Kapasitas kompresor, lb/menit
R_c	=	Rasio kompresi
W	=	Laju alir massa, lb/jam
ρ	=	Densitas, kg/m^3

6. Kolom Destilasi

A_a	=	Active area, m^2
A_d	=	Downcomer area, m^2
A_{da}	=	Luas aerasi, m^2

A_h	=	Hole area, m^2
A_n	=	Net area, m^2
A_t	=	Tower area, m^2
C_c	=	Tebal korosi maksimum, in
D	=	Diameter kolom, m
d_h	=	Diameter hole, mm
E	=	Total entrainment, kg/s
E_j	=	Efisiensi pengelasan
F_{iv}	=	Parameter aliran
H	=	Tinggi kolom, m
h_a	=	Aerated liquid drop, m
h_f	=	Froth height, m
h_q	=	Weep point, cm
h_w	=	Weir height, m
L_w	=	Weir height, m
N_m	=	Jumlah tray minimum, stage
Q_p	=	Faktor aerasi
R	=	Rasio refluks
R_m	=	Rasio refluks minimum
U_f	=	Kecepatan massa aerasi, m/s
V_d	=	Kelajuan downcomer
ΔP	=	Pressure drop, psi
ψ	=	Fractional entrainment

7. Pompa

A	=	Area alir pipa, in^2
BHP	=	Brake Horse Power, HP
D_{opt}	=	Diameter optimum pipa, in
f	=	Faktor friksi
g	=	Percepatan gravitasi ft/s^2
g_c	=	Konstanta percepatan gravitas, ft/s^2
H_d, H_s	=	Head discharge, suction, ft

H_f	=	Total friksi, 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_{fs}	=	Friksi pada permukaan pipa, ft
ID	=	Diameter dalam, in
K_C, K_E	=	Konstanta kompresi, ekspansi, ft
L	=	Panjang pipa, m
L_e	=	Panjang ekivalen pipa, m
MHP	=	Motor Horse Power, HP
NPSH	=	Net positive suction head, ft.lbf/lb
N_{RE}	=	Bilangan Reynold
OD	=	Diameter luar, in
P_{uap}	=	Tekanan uap, psi
Q_f	=	Laju alir volumetrik, ft ³ /s
V_d	=	Discharge velocity, ft/s
V_s	=	Suction velocity, ft/s
ϵ	=	Equivalent roughness, ft
η	=	Efisiensi pompa
μ	=	Viskositas, kg/ms
ρ	=	Densitas, kg/m ³

8. Reaktor

a''	=	Flow area (in ²)
A_c	=	Cross sectional area (m ²)
A_p	=	particle <i>external</i> surface area (m ²) (m ²)
BM	=	Berat molekul (kg/kmol)
C	=	<i>Clearance</i> (m)
C_c	=	Tebal korosi maksimum (m)
C_p	=	Kapasitas panas fluida (J/kg°C)
De	=	equivalent diameter (m)

dh	=	hydraulic diameter, KrischereKast hydraulic diameter (mm)
dp	=	particle diameter, diameter katalis, equivalent pellet diameter (mm)
Gg	=	<i>superficial mass velocity</i> of gas (kg/m ² .jam)
Hb	=	Bed (catalyst + void) (m)
Hc	=	Catalyst (tanpa void or murni katalis) (m)
Hf	=	Tinggi <i>liquid + vapor</i> (tanpa katalis dalam reaktor) (m)
Hh	=	Head atas atau bawah (m)
Hh	=	Head atas dan bawah (m)
Ht	=	Total reaktor (m)
k	=	Konstanta laju reaksi (m ³ /kmol.s)
L	=	<i>liquid mass velocity</i> (kg/m ² .s) (kg/m ² .jam)
m	=	Laju alir massa (kg/jam)
P	=	Tekanan desain (psi)
Q	=	Laju alir volumetrik (m ³ /jam)
R	=	Konstanta gas (kJ/kmol.K)
(-r)	=	Laju reaksi (kmol/m ³ .s)
r	=	Jari-jari kolom (m)
Re	=	Bilangan Reynold
S	=	<i>Allowable working stress</i> (psi)
t	=	Tebal dinding reaktor (m)
Ug	=	<i>superficial velocity</i> gas (m/jam)
Ul	=	<i>superficial velocity liquid</i> (m/jam)
V _H	=	Volume head (m ³)
V _k	=	Volume katalis (m ³)
V _R	=	Volume reaktor (m ³)
V _S	=	Volume <i>shell</i> (m ³)
Wel	=	Weber number <i>liquid</i>
W _k	=	Berat katalis (kg)
Xg	=	modified LockharteMartinelli number
ε	=	porosity, voidage, turbulent energy dissipation rate

μ	=	Viskositas fluida (kg/m.s)
ρ	=	Densitas fluida (kg/m ³)
ρ_b	=	Bulk density katalis (kg/m ³)
ρ_g	=	densitas gas (kg/m ³)
ρ_k	=	Densitas katalis katalis (kg/m ³)
σ	=	Surface tension, N/m (dynes/cm)
ϕ	=	Porositas
ϕ_s	=	Sphericity
ΔG	=	Energi aktivasi (kJ/kmol)
ΔH	=	Entalpi pembentukan (kJ/kmol.K)

9. Tangki

C_c	=	Tebal korosi maksimum (m)
D	=	Diameter tangki (m)
E_j	=	<i>Joint efficiency</i>
h	=	Tinggi ellipsoidal (m)
H	=	Tinggi silinder (m)
H_T	=	Tinggi total tangki (m)
OD	=	Diameter luar (m)
P	=	Tekanan desain (psi)
r	=	Jari-jari tangki (m)
S	=	<i>Allowable working stress</i> (psi)
t	=	Tebal dinding tangki (m)
V_e	=	Volume ellipsoidal (m ³)
V_s	=	Volume silinder (m ³)
V_t	=	Kapasitas tangki (m ³)
W	=	Laju alir massa (kg/jam)
ρ	=	Densitas <i>liquid</i> (kg/m ³)

10. Knock Out Drum

A	=	Vessel Area Minimum, m ²
-----	---	-------------------------------------

C	= Corrosion maksimum, in
D	= Diameter vessel minimum,m
E	= Joint efisiensi
H _L	= Tinggi liquid, m
H _t	= Tinggi vessel,m
P	= Tekanan desain, psi
Q _v	= Laju alir volumetric massa, m ³ /jam
Q _L	= Liquid volumetric flowrate, m ³ /jam
S	= Working stress allowable, psi
t	= tebal dinding tangki, m
U _v	= Kecepatan uap maksimum, m/s
V _t	= Volume Vessel, m ³
V _h	= Volume head, m ³
V _t	= Volume vessel, m ³
ρ	= Densitas, kg/m ³
μ	= Viskositas, cP
ρ _g	= Densitas gas, kg/m ³
ρ _l	= Densitas liquid, kg/m ³

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Perhitungan Neraca Massa.....	173
Lampiran II	Perhitungan Neraca Panas.....	255
Lampiran III	Perhitungan Spesifikasi Alat.....	414
Lampiran IV	Perhitungan Analisa Ekonomi.....	708
Lampiran V	Tugas Khusus.....	733

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1 Latar Belakang

Perkembangan cepat industri kimia telah mendorong kemajuan industri di Indonesia. Hal ini dibuktikan dengan diprakarsainya pembangunan pabrik-pabrik kimia di Indonesia. Kegiatan pengembangan industri kimia di Indonesia bertujuan untuk meningkatkan kapasitas nasional dalam memenuhi kebutuhan bahan kimia dalam negeri sekaligus berkontribusi dalam memecahkan masalah ketenagakerjaan. Pemerintah melalui kementerian perindustrian juga melakukan program substitusi impor untuk menurunkan angka importasi dan menciptakan rantai pasokan sekaligus memperdalam struktur industri dalam negeri. Salah satu langkah pemerintah dalam mengurangi impor yaitu pada produk hulu yang utamanya berupa industri damar buatan (resin sintetis) dan bahan baku plastik. Vinil asetat monomer (VAM) merupakan salah satu bahan utama yang merupakan produk *intermediate* utama dalam industri resin sintetis dan bahan baku plastik.

Kemajuan industri di Indonesia memicu peningkatan kebutuhan berbagai bahan kimia. Vinil asetat monomer (VAM) dengan rumus kimia $C_4H_6O_2$ merupakan bahan kimia yang berperan sebagai *intermediate* yang banyak dibutuhkan industri. VAM digunakan sebagai bahan baku untuk industri emulsi *Polyvinyl Acetate* (PVAc) dan resin serta *vinyl acetate co-polymer* yang banyak digunakan dalam industri cat, pelapis, dan perekat (termasuk untuk logam, porselen, kayu), serta dalam pembuatan serat akrilik dan kertas.

Meningkatnya kebutuhan vinil asetat di Indonesia tiap tahunnya belum dapat ditopang oleh industri dalam negeri. Data BPS menunjukkan jumlah impor vinil asetat dari tahun 2019 hingga 2023 adalah 180.386,560 ton. Kebutuhan akan vinil asetat di Indonesia masih mengimpor dari luar negeri yaitu Amerika Serikat, Turki, Taiwan, Singapura, Korea, Jerman, Prancis, Cina, Brazil, Belgia, dan Jepang (Badan Pusat Statistik, 2024). Pendirian pabrik vinil asetat monomer di Indonesia diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada impor.

Pembangunan pabrik vinil asetat di Indonesia dinilai berpotensi untuk dilakukan. Teknologi *oxidative dehydrogenation* (ODH) dari etana yang dijelaskan dalam US Paten No 0040018 A1 dapat digunakan dalam produksi vinil asetat.

Teknologi ini melibatkan reaksi oksidasi etana untuk menghasilkan asam asetat, etilen dan CO₂ dengan produk akhir vinil asetat. Etana adalah jenis hidrokarbon yang termasuk dalam kelompok senyawa alkana. Dalam industri, etana dihasilkan dengan cara diisolasi dari gas alam, dan sebagai hasil samping dari penyulingan minyak. Indonesia dikenal memiliki kekayaan hidrokarbon yang melimpah, termasuk minyak dan gas bumi, Potensi bahan baku etana dapat diperoleh dari beberapa industri minyak dan gas nasional salah satunya dari PT. Kilang Pertamina Internasional dan PT. Pertamina Gas Negara (PGN). Namun, untuk saat ini perusahaan tersebut belum memproduksi produk gas etana secara khusus dan masih berfokus ke produk gas campuran seperti LPG.

Dengan mempertimbangkan perkembangan industri kimia di Indonesia dan upaya pemerintah dalam program substitusi impor, pentingnya vinil asetat monomer (VAM) sebagai bahan baku dalam berbagai produk industri, serta kenyataan bahwa Indonesia masih mengimpor VAM dalam jumlah besar, jelas bahwa ada kebutuhan mendesak untuk meningkatkan produksi VAM dalam negeri.

1.2 Sejarah dan Perkembangan

Proses pembuatan vinil asetat telah mengalami perkembangan seiring berjalannya waktu. Vinil asetat pertama kali dikenal di Munich, Jerman dengan nomor hak paten 271.381 atas nama Dr. F. Klate dari Griseim-Electron Chemical Works pada bulan Juni 1912 (Hanif, L & Rozalina, 2020). Proses ini dikembangkan oleh Consortium f. Industri Elektrokimia dan digunakan dalam skala industri oleh Wacker Chemie di Burghausen. Hingga tahun 1965, hampir semua vinil asetat diproduksi dengan proses fase gas asetilena. Namun, seiring berjalannya waktu, proses pembuatan vinil asetat berkembang dari penambahan asam asetat ke asetilena menjadi penambahan asam asetat ke asetaldehida. Proses ini kemudian digantikan dengan proses fase gas etilena.

Produksi vinil asetat dengan penambahan asam asetat ke etilena mulai digunakan secara luas pada tahun 1970-an. Karena etilena adalah bahan baku yang murah, pada dasarnya semua produksi sejak tahun 1980 telah berbasis pada senyawa tersebut (Daniels, 1983). Baik proses fase cair maupun fase uap digunakan. Proses fase cair, yang dikembangkan di Jerman, Jepang, dan Inggris, melibatkan garam paladium dan tembaga sebagai katalis dan produksi vinil asetat

dan asetaldehida. Produk-produk tersebut dipisahkan, dan asetaldehida dapat dikonversi menjadi asam asetat, yang kemudian dimasukkan kembali ke dalam proses. Proses fase uap dikembangkan secara independen oleh perusahaan di Jerman dan Amerika Serikat, dan saat ini sekitar 75% dari produksi dunia dibuat dengan teknik ini (Roscher dkk, 1983).

Proses fase uap berbeda dari fase cair karena sedikit sekali asetaldehida yang terbentuk. Di Jepang, sebagian besar vinil asetat yang diproduksi oleh proses fase uap digunakan dalam produksi alkohol polivinil melalui alkoholisis asetat polivinil. Asam asetat yang dibebaskan kemudian didaur ulang untuk sintesis monomer (Daniels, 1983). Teknik ketiga untuk memproduksi vinil asetat melibatkan reaksi asetaldehida dengan anhidrida asetat untuk menghasilkan diasetat etilidena, yang kemudian dipisahkan secara pirolitik menjadi vinil asetat dan asam asetat (IARC, 1995).

Metode lain untuk memproduksi vinil asetat termasuk reaksi klorida vinil dengan asetat natrium dalam larutan di hadapan klorida paladium (Daniels, 1983), konversi asetat metil dengan karbon monoksida dan hidrogen di hadapan katalis menjadi diasetat etilidena dan pemisahan berikutnya menjadi vinil asetat dan asam asetat (Roscher dkk, 1983). Gas sintetis telah digunakan sebagai bahan baku untuk vinil asetat (Mannsville Chemical Products Corp, 1982). Patent US 0040018 A1 Mengungkapkan proses konversi gas sintetis menjadi alkena, khususnya etana menjadi etilen, dengan asam asetat sebagai produk sampingan dari proses pertama. Aspek pengungkapan berhubungan dengan produksi vinil asetat dari etilena dan asam asetat yang dihasilkan dari proses pertama dalam proses kedua atau serial.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik Vinil Asetat Monomer

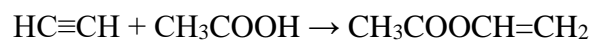
Tujuan utama pendirian pabrik vinil asetat monomer adalah untuk memenuhi kebutuhan pasar domestik Indonesia akan vinil asetat, yang saat ini sebagian besar dipenuhi melalui impor. Dengan didirikannya Pabrik vinil asetat, Indonesia dapat mengurangi ketergantungan pada impor vinil asetat dan memanfaatkan sumber daya domestik dengan lebih baik. Pendirian pabrik ini juga memiliki mempengaruhi peningkatan dari kapasitas produksi bahan kimia lain yang bergantung pada vinil asetat di Indonesia, menciptakan lapangan kerja baru dan berkontribusi pada peningkatan ekonomi lokal dan nasional.

1.4. Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer

Proses pembuatan Vinil Asetat Monomer (VAM) secara umum dapat dikelompokkan atas 5 proses, yaitu:

1. Adisi Asam Asetat terhadap Asetilena

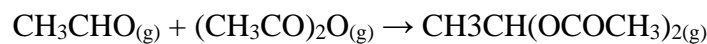
Reaksi pembentukan vinil asetat terjadi antara asam asetat (CH_3COOH) dan asetilena (C_2H_2) membentuk vinil asetat. Reaksi berlangsung pada suhu $170\text{-}250^\circ\text{C}$ dan tekanan $0,1\text{-}4\text{ MPa}$ serta katalis ZnOAc dengan support karbon. Reaksi tersebut digambarkan sebagai berikut:



Konversi asetilena per pass adalah $60 - 70\%$ dengan selektivitas 93% asetilena dan 99% asam asetat. Biaya asetilena yang tinggi dan masalah keamanan membuat proses ini kurang kompetitif saat ini (Dimian, dkk, 2008).

2. Asetaldehida dan Asam Anhidrat

Dimian dkk, 2008 menjelaskan proses pembuatan vinil asetat monomer berlangsung dalam dua tahap. Tahap pertama yaitu asetaldehid dan asetat anhidrat membentuk etilidena diasetat dalam fasa cair pada suhu $120\text{-}140^\circ\text{C}$ dengan menggunakan katalis FeCl_3 ,

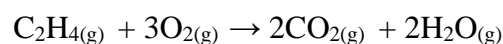
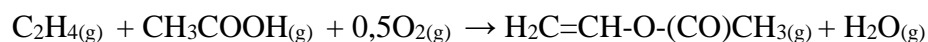


Pada tahap kedua, produk antara didekomposisi pada 120°C dengan katalis asam.



3. Acetic acid, ethylene and oxygen

Salah satu proses untuk produksi vinil asetat adalah reaksi asam asetat, etilen dan oksigen. Ini adalah cara yang paling hemat biaya untuk menghasilkan vinil asetat. Saat ini, prosesnya mendominasi produksi vinil asetat. Proses ini terdiri dari dua reaksi, dan reaksi ini terjadi dalam fase gas:



Etilena adalah gugus alkena paling sederhana dengan titik didih $-103,7^\circ\text{C}$ dan suhu pencairan $+169,2^\circ\text{C}$ dan merupakan gas mudah terbakar

yang tidak berwarna. Katalis bifungsional berbasis paladium digunakan untuk proses ini. Namun, ada katalis alternatif lain untuk produksi. Cleans menggunakan alternatif pertama, campuran logam paladium, emas dan tembaga asetat. Pilihan kedua, katalis paladium-emas, diproduksi di Lyndell dan Basell. Opsi ketiga, katalis Pd/KOCH₃O₂, banyak digunakan di DuPont.

Kelebihan dari proses Acetic acid, ethylene and oxygen untuk fase gas ditunjukkan pada **Tabel 1.1**.

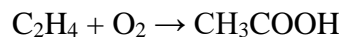
Tabel 1.1. Perbandingan Proses Pembuatan Vinil Asetat Monomer

Acquisition process	Acetic acid and acetylene	Acetaldehyde and acetic anhydride	Acetic acid, ethylene and oxygen	
			Liquid phase	Gas-phase
Pressure	15-18 atm	20 at atm	30-40 atm	9-12 atm
Temperature, °C	170-250	120-140	110-130	150-160
Catalyst	Wood charcoal swallow Zn(OAc) ₂	FeCl ₃	PdCl ₂ /CuCl ₂ (corrosion)	Palladium salts in the holder
Economic situation	Expensive	Relatively high	Expensive	Cheaper than the other

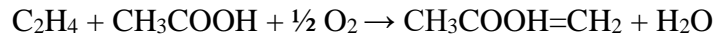
Sumber : Buronov, F., dan Fayzullayev, N. (2021).

4. Proses Oksidasi Etilen

Vinil asetat diproduksi melewati dua tahapan proses. Tahapan pertama, etilen dioksidasi menghasilkan asam asetat. Kondisi operasi pada tahap pertama adalah 286°C dan tekanan 13,8 atm dengan katalis MoVnbPdO.

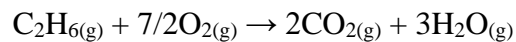
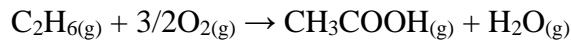
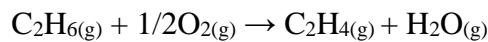


Pada tahap kedua, etilen dan asam asetat yang telah dihasilkan pada tahap pertama direaksikan sehingga menghasilkan vinil asetat monomer Dengan kondisi operasi 150°C dan tekanan 7,8 atm dengan katalis aluminium.

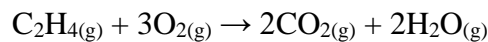
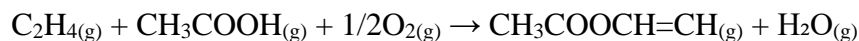


5. Proses Oksidatif Dehidrogenasi Etana

Pembuatan vinil asetat monomer dengan proses Oksidatif Dehidrogenasi Etana meliputi dua tahapan. Tahap pertama adalah pembentukan etilen, asam asetat, karbondioksida, dan air dengan mereaksikan etana dengan oksigen. Produk hasil dari proses pertama berupa etilen dan asam asetat, selanjutnya di reaksikan dengan oksigen membentuk vinil asetat, karbondioksida dan air. Reaksi proses oksidatif dehidrogenasi etana adalah sebagai berikut:



Produk hasil dari proses pertama berupa etilen dan asam asetat, selanjutnya di reaksikan dengan oksigen membentuk vinil asetat, karbondioksida dan air dengan reaksi sebagai berikut :



1.5 Sifat Fisik dan Kimia

1) Etana

Sifat Fisik Etana

Rumus Molekul	: (C ₂ H ₆)
Berat Molekul	: 30 kg/kmol.
Densitas	: 1,36 kg/m ³ .
Bentuk	: Gas tak berwarna dan tak berbau pada suhu kamar.
Titik Didih	: -89°C
Titik Leleh	: -182,8°C
Temperatur Kritis	: 32,2°C
Tekanan Kritis	: 48,2 atm
C _p (pada 298 K)	: 52,49 J/mol K

Sifat Kimia Etana:

- a) Etana adalah hidrokarbon jenuh yang hanya mengandung atom hidrogen dan karbon.
- b) Tidak larut dalam air, tetapi larut dalam pelarut organik.
- c) Sangat mudah terbakar dan dapat meledak.
- d) Memiliki reaktivitas kimia yang rendah.

2) Oksigen

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: O ₂
Berat Molekul	: 32 kg/kmol
Densitas	: 1100 kg/m ³ cairan
Wujud	: Gas
Titik Didih	: -183°C
Titik Leleh	: -219°C
Temperatur Kritis	: -118°C
Tekanan Kritis	: 49,7 atm
Cp (298 K)	: 46,40 J/mol K

Sifat Kimia

- a) Oksigen membentuk senyawa dengan semua unsur, kecuali gas-gas mulia ringan.
- b) Gas yang tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa dibawah tekanan dan suhu atmosfer
- c) Biasanya oksigen bereaksi dengan logam membentuk ikatan yang bersifat ionik dan bereaksi dengan bukan logam membentuk ikatan yang bersifat kovalen sehingga akan membentuk oksida.
- d) Reaktif / tidak kompatibel dengan bahan berikut: bahan pengoksidasi, bahan pereduksi dan bahan mudah terbakar.

3) Asam Asetat

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: CH ₃ COOH
Berat Molekul	: 60,052 kg/kmol
Densitas	: 1049 kg/m ³
Wujud	: Liquid

Titik Didih	: 117,9°C
Titik Leleh	: 16,2°C
Temperatur Kritis	: 321,6°C
Tekanan Kritis	: 57,2 atm
ΔH_f (298 K)	: 486,18 kJ/gmol

Sifat Kimia

- Tidak reaktif pada kondisi normal
- Bereaksi hebat dengan zat pengoksidasi kuat: asetaldehida, anhidrida asetat dan bereaksi dengan beberapa bahan logam, basa kuat, amina, karbonat dan hidroksilat.
- Cairan bening tidak berwarna dengan bau cuka yang menyengat
- Bersifat korosif dan toxic
- Asam asetat ditambahkan dengan asetilen membentuk vinil asetat.

4) Etilen

Sifat Fisika

Rumus Molekul	: C_2H_4
Berat Molekul	: 28,054 kg/kmol
Densitas	: 975 kg/m ³ gas
Wujud	: Gas
Titik Didih	: -102,5°C
Titik Leleh	: -168°C
Temperatur Kritis	: 9,7°C
Tekanan Kritis	: 50,5 atm
C_p (298 K)	: 42,86 J/mol K
ΔH_f (298 K)	: 52,51 kJ/gmol

Sifat Kimia

- Gas yang tidak berwarna dan mudah terbakar
- Produk intermediate yang reaktif
- Reaksi yang melibatkan etilena umumnya bersifat eksotermis
- Senyawa tak jenuh dan berbau sedikit manis

5) Vnil Asetat Monomer

Sifat Fisika

Rumus kimia	: $\text{CH}_3\text{COOCH}=\text{CH}_2$
Berat Molekul	: 86,091 Kg/ kmol
Densitas	: 932 Kg/m ³
Spgr	: 0,9338
Wujud	: Liquid
Titik didih	: 72,8°C
Titik leleh	: - 100,2 °C
Temperatur kritis	: 525 K
Tekanan kritis	: 43,6 atm

Sifat Kimia

- a) Cairan bening tidak berwarna dengan bau buah yang manis
- b) Vinil asetat terhidrolisis dengan katalis asam atau basa membentuk vinil alkohol tidak stabil, kemudian membentuk asetaldehid.
- c) Menghasilkan reaksi eksotermis dengan toluene, asam, alkali kuat, aldehida, aluminium oksida.
- d) Beresiko menghasilkan ledakan dengan senyawa hidrogen peroksida.

6) Air

Sifat Fisika

Rumus kimia	: H_2O
Berat Molekul	: 18,015 Kg/ kmol
Densitas	: 998 Kg/m ³
Wujud	: Liquid
Titik didih	: 100°C
Titik leleh	: 0°C
Temperatur kritis	: 374,15°C
Tekanan kritis	: 220,5 atm
Kapasitas Panas	: 75,4 J/mol.K (liquid)

Sifat Kimia

- a) Air sering disebut sebagai pelarut universal karena air melarutkan banyak zat kimia.

- b) senyawa anorganik polar yang pada suhu kamar berbentuk cairan tidak berasa dan tidak berbau, yang hampir tidak berwarna (bening).
- c) Zat-zat yang bercampur dan larut dengan baik dalam air (misalnya garam-garam) disebut sebagai zat-zat hidrofilik dan zat-zat yang tidak mudah larut dalam air (misalnya lemak dan minyak) disebut sebagai zat-zat hidrofobik.

7) Karbondioksida

Sifat Fisik:

Bentuk	: Gas tak berwarna dan tak berbau pada suhu kamar.
Densitas	: 1,795 kg/m ³ (gas), 1.101 kg/m ³ (cairan), 1.562 kg/m ³ (padatan)
Titik Didih	: -78,5°C (gas), -37°C (cairan), -78,5°C (padatan)
Titik Leleh	: -109,2°C (gas), -78,5°C (cairan), -109,3°C (padatan)
Temperatur Kritis	: 30,98°C
Tekanan Kritis	: 73,8 bar
C _p (pada 298 K)	: 37,35 J/mol K

Sifat Kimia:

- a) Karbon dioksida tidak mudah terbakar dan relatif tidak beracun.
- b) Ketika larut dalam air, membentuk asam karbonat ringan.
- c) Digunakan dalam minuman berkarbonasi dan sebagai bahan pendingin dalam bentuk es kering.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandyzadeh, S., dan Foumeny, E.A. 2001. Design of Packed Bed Reactors: Guides to Catalyst Shape, Size, and Loading Selection. *Applied Thermal Engineering*. Vol (21): 669±682.
- Al-Mayman, S.I., Soliman, M.A., Al-Awadi, A.S., Al-Zeghayer, Y.S. 2018. Reaction kinetics of ethane partial oxidation to acetic acid. *Applied Petrochemical Research*. Vol (8): 29–38.
- Amri, Suteja. 2009. Pembuatan Vinil Asetat Dari Etilena, Asam Asetat Dan Oksigen Dengan Kapasitas 35.000 Ton/Tahun. Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- Avgouropoulos, G., dan Ioannides, T. 2011. Kinetics of CO and H₂oxidation over CuO–CeO₂and CuO catalysts. *Chemical Engineering Journal*. 10.1016/j.cej.2011.02.080.
- Badan Pusat Statistik. 2024. Data Ekspor & Impor Vinil Asetat Monomer di Indonesia. (Online). <https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada Tanggal 10 Juni 2024).
- Baroi, C., Gaffney, A.M. and Fushimi, R., 2017. Process economics and safety considerations for the oxidative dehydrogenation of ethane using the M1 catalyst. *Catalysis Today*, 298, pp.138-144.
- Brownell, L.E., dan Young, E.H. 1959. *Process Equipment Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Buronov, F., & Fayzullayev, N. (2021). *Optimization of vinyl acetate production process*. *ГПААЛБ НАУКИ*, (4), 187-191.
- Caputo, T., Lisi, L., Pirone, R., dan Russo, G. 2007. Kinetics of the Preferential Oxidation of CO over CuO/CeO₂ Catalysts in H₂-Rich Gases. *Ind. Eng. Chem. Res.* Vol (46), 6793-6800.
- Chen, J., Sun, Z., Balakotaiah, V., dan Bollini, P. 2022. A global kinetic model for the oxidative dehydrogenation of ethane over mixed metal oxide catalysts at supra-ambient pressures. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 445.
- Daniels, W. (1983) *Vinyl acetate monomer*. In: Mark, H.F., Othmer, D.F., Overberger, c.G., Seaborg, G.T & Grayson, N., eds, Kirk-Othmer

- Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd Ed.*, Vol. 23, New York, John Wiley & Sons, pp. 817-847.
- Faith, Keyes and Clark's. 1975. *Industrial Chemicals 4th Ed.* United States of America.
- Fattimura, M. 2014. Tinjauan Teoritis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Operasi Pada Kolom Destilasi. *Jurnal Media Teknik*. 11(1): 23-31.
- Felder, R.M., Rousseau, R.W., dan Bullard, L.G. 2016. *Elementary Principles of Chemical Engineering 3rd Edition*. USA: Willey.
- Frank, L dan Evans, jr. 1980. *Equipment Design Handbook for Refineries and Chemical Plants 2nd Ed.* Gulf Publishing Company.
- Geankoplis, C.J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations*. Prentice-Hall International, Inc.
- Hanif, Larantika dan Rozalina. (2020). Perak Polyvinyl Acetate (PVAc) .*Journal of Akar*, Volume 2 Nomor 1 Edisi Februari 2020.
- Haratian, M., Amidpour, M., & Hamidi, A. (2019). Modeling and optimization of process fired heaters. *Applied Thermal Engineering*, 157, 113722.
- Hirosaka, K., Koido, K., Fukayama, M., Ouryoji, K., dan Hasegawa, T. 2008. Experimental and numerical study of ethanol oxidation in sub-critical water. *J. of Supercritical Fluids*. Vol. 44 (2008) 347–355.
- IARC (1995) *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, Vol. 62, Lyon, pp. 217-362
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.
- Kister, H.Z. 1992. *Distillation Design*. Mc-Graw Hill, Inc.
- Komariah, L.N., Ramdja, A.F., dan Leonard, N. 2009. Tinjauan Teoritis Perancangan Kolom Distilasi Untuk Pra-Rencana Pabrik Skala Industri. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 4 (16): 19-27.
- Li, X., dan Iglesia, E. 2008. Kinetics and Mechanism of Ethane Oxidation to Acetic Acid on Catalysts Based on Mo-V-Nb Oxides. *J. Phys. Chem. C*. Vol112, 15001–15008.
- Luyben, M.L, dan Tyreus, B.D. 1997. An industrial design/control study for the vinyl acetate monomer process. *Computers Chem. Engng*. Vol. 22, No. 7-8, pp. 867-877.

- Mannsville Chemical Products Corp. (1982) *Vinyl Acetate (Chemical Products Synopsis)*, Cortland, NY
- Melzer, D., Mestl, G., Wanninger, K., Jentys, A., Sanchez-Sanchez, M., dan Lercher, J.A. 2020. On the Promoting Effects of Te and Nb in the Activity and Selectivity of M1 MoV-Oxides for Ethane Oxidative Dehydrogenation. *Topics in Catalysis*. <https://doi.org/10.1007/s11244-020-01304-0>.
- Najari, S., Saeidi, S., Concepcion, P., Dionysiou, D.D., Bhargava, S.K., Lee, A.F. and Wilson, K., 2021. Oxidative dehydrogenation of ethane: catalytic and mechanistic aspects and future trends. *Chemical Society Reviews*, 50(7), pp.4564-4605.
- Paolini, V., Torre, M., Giacomini, W., Pastori, M., Segreto, M., Tomassetti, L., Carnevale, M., Gallucci, F., Petracchini, F., dan Guerriero, E. 2019. CO₂/CH₄ Separation by Hot Potassium Carbonate Absorption for Biogas Upgrading. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. Vol. (83): 186-194.
- Pemerintah Daerah Kendal. 2011. Peraturan Daerah Nomor 20 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kabupaten Kendal.
- Pemerintah Daerah Kendal. 2016. Peraturan Daerah Kabupaten Kendal Nomor 7 Tahun 2016, Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah (RPJMD) Kabupaten Kendal Tahun 2016-2021
- Pemerintah Indonesia. 2019. Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 85 Tahun 2019 tentang Kawasan Ekonomi Khusus Kendal.
- Peter, M. S., dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics For Chemical Engineers 4th Edition Volume IV*. New York: McGraw-Hill Company.
- Purwanto, W.W., dan Slamet.2018. *Teknik Reaksi Kimia: Teori dan Soal Penyelesaian*. UI-Press.
- Richardson, J. F., Harker, J. H., dan Backhurst, J. R. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering 5th Edition, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Robert F. Stricker P.E., J. Phillip Ellenberger P.E. *Pressure Vessels: The ASME Code Simplified, 9th Edition*. McGraw-Hill Education.

- Rodríguez, M.L., Ardisson, D.E., López, E., Pedernera, M.N. and Borio, D.O., 2011. Reactor designs for ethylene production via ethane oxidative dehydrogenation: Comparison of performance. *Industrial & engineering chemistry research*, 50(5), pp.2690-2697.
- Roscher, G., Hofmann, E., Armstrong Adey, K., Jeblick, W., Klimisch, H.-J. & Kieczka, H. (1983) *Vinyl acetate*. In: Gerhartz, W., Mayer, c., Moegling, O., Monkhouse, P. & Pfefferkorn, R., eds, *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 4th Ed.*, VoL. 23, New York, VCH Publishers, pp.597-618.
- Sedova, M.F., dan Emanuel, N.M. 1955. Kinetics Of the Oxidation of Ethane In Presence of Hydrogen Bromide. M.V. Lomonosov State University, Moscow, and Institute of Chemical Physics of the Academy of Sciences of the USSR.
- Sinnott, R. K. 2005. Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6. (Hal. 322: Heat Capacities of the Element). Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J.M. 1970. *Chemical Engineering Kinetics*. McGraw-Hill, Inc.
- Smith, R. 2005. *Chemical Process Design and Integration*. John Wiley & Sons, Ltd.
- The Engineering Toolbok.2005. Fuel Gases - Heating Values. https://www.engineeringtoolbox.com/heating-values-fuel-gases-d_823.html. Diakses pada 2 April 2024
- Towler, G. dan Sinnott, R. 2008. *Chemical Engineering Design Principles, Practice and Economics of Plant and Process Design*. Elsevier.
- Treybal, R.E. 1981. *Mass Transfer Operation*. Singapore: McGraw-Hill Book Cooperation.
- Ulrich, G.D. 1984. *A Guide to Chemical Engineering Process Design and Economics*. John Wiley and Sons. New York.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1995. Tentang Perseroan Terbatas. (Online). <https://www.bphn.go.id/data/documents/95uu001.pdf>. (Diakses pada Tanggal 20 Oktober 2024).

- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2003. Tentang Ketenagakerjaan. (Online). http://www.kemenperin.go.id/kompetensi/UU_13_2003.pdf. (Diakses pada Tanggal 20 Oktober 2024).
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2007. (Online). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/39965>. (Diakses pada Tanggal 20 September 2024).
- US Patent No. US 2021/0040018 A1. David Gent. et all. 2021. *Process to Produce Ethylene and Vinyl Acetate Monomer and Derivatives Thereof*.
- Valente, J.S., Quintana-Solorzano, R., Armendariz-Herrera, H., Barragan-Rodriguez., dan Lopez-Nieto, J.M. 2013. Kinetic Study of Oxidative Dehydrogenation of Ethane over MoVTaNb Mixed-Oxide Catalyst. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. doi.org/10.1021/ie402447h.
- Vloza. 2024. Data Ekspor & Impor Vinil Asetat Monomer. (Online). <https://www.volza.com/https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada Tanggal 10 Juni 2024).
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. New York:Butterworth-Heinemann.
- Welty, J.R. 2008. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer 5th Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- WIPO No. WO 2023/031733 A1. 2023. *Oxygen Removal From an Ethane ODH Product Stream Using Ethanol*.
- Yaws,C.L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Mc-Graw-Hill.