

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DENGAN PROSES
DEHIDRASI ASAM LAKTAT
KAPASITAS 100.000 TON PER TAHUN**



SKRIPSI

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

Oleh

**SHADEV EDRIKHAN
SITI AISAH**

**03031282126061
03031282126041**

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2025**

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DENGAN PROSES DEHIDRASI ASAM
LAKTAT
KAPASITAS 100.000 TON PER TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk melengkapi salah satu syarat memperoleh gelar sarjana

Oleh:

Shadev Edrikhan

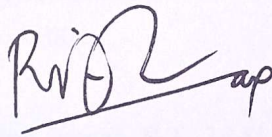
NIM. 03031282126061

Siti Aisah

NIM. 03031282126041

Palembang, Juli 2025

Pembimbing,

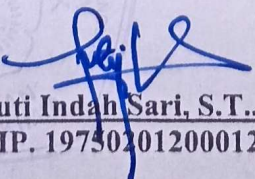
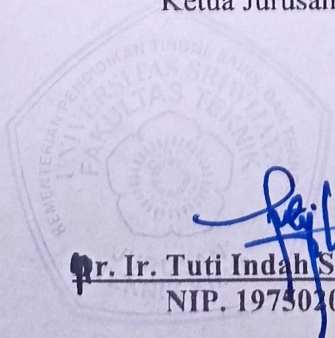


Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T.

NIP. 199007112019032018

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

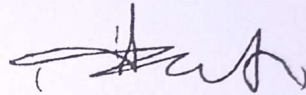
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi dengan Judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Akilat Dengan Proses Dehidrasi Asam Laktat Kapasitas 100.000 Ton Per Tahun" telah dipertahankan Shadv Edrikhan dan Siti Aisah di hadapan Tim Penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juni 2025.

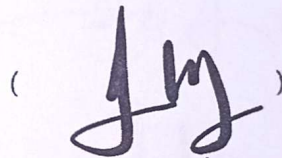
Palembang, Juni 2025

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi

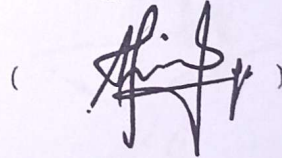
1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU.
NIP. 195610241981032001



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

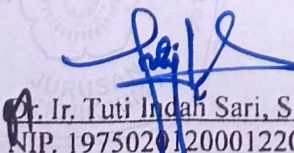


3. Dr. Ir. Asyeni Miftahul Jannah, S.T., M.Si.
NIP. 198606292008122002

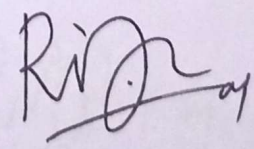


Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia

Palembang, Juni 2025
Pembimbing Tugas Akhir



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



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

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Shadev Edrikhan 03031282126061

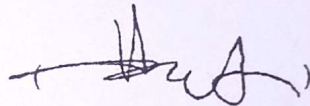
Siti Aisah 03031282126041

Judul:

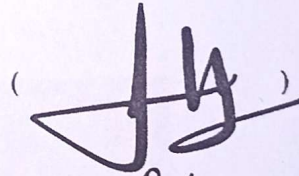
**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT DENGAN
PROSES DEHIDRASI ASAM LAKTAT KAPASITAS 100.000 TON PER
TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah menyelesaikan tugas perbaikan yang diberikan pada
Sidang Sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
pada tanggal 23 Juni 2025 oleh Dosen Penguji:

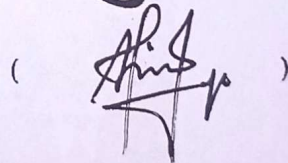
1. Prof. Dr. Ir. Hj. Sri Haryati, DEA, IPU.
NIP. 195610241981032001



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

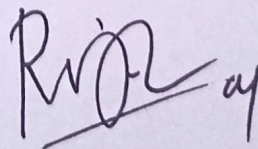


3. Dr. Ir. Asyeni Miftahul Jannah, S.T., M.Si.
NIP. 198606292008122002



Palembang, Juni 2025

Dosen Pembimbing



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

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Shadev Edrikhan

NIM : 03031282126061

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Akrilat dengan Proses
Dehidrasi Asam Laktat Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Shadev Edrikhan 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.

Palembang, Juli 2025



Shadev Edrikhan

03031282126061



HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Aisah

NIM : 03031282126041

Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Akrilat dengan Proses Dehidrasi Asam Laktat Kapasitas 100.000 Ton/Tahun

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama Siti Aisah 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.

Palembang, Juli 2025



Siti Aisah

03031282126041



KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala berkat limpahan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul “Pra Rencana Pabrik Pembuatan Asam Akrilat dengan Proses Dehidrasi Asam Laktat dengan Kapasitas Produksi 100.000 Ton/Tahun”. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Dalam penyusunan tugas akhir penulis tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis telah banyak menerima bimbingan, petunjuk, bantuan, dan dorongan yang bersifat moral maupun materi. Diucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada

- 1) Kedua orang tua penulis yang selama ini telah membantu penulis dalam bentuk kasih sayang, perhatian, semangat, dan doa yang tiada henti- hentinya demi kelancaran dan kesuksesan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
- 2) Ibu Dr. Tuti Indah Sari, S.T., M.T., IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 3) Ibu Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 4) Ibu Ir. Rizka Wulandari Putri, S.T., M.T., IPM selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan, arahan dan motivasi kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
- 5) Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
- 6) Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya angkatan 2021 yang memberikan dukungan dan bantuan selama ini.
- 7) Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

Indralaya, Mei 2025

Penulis

RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM AKRILAT KAPASITAS 100.000 TON/TAHUN

Karya Tulis Ilmiah Berupa Skripsi, Juni 2025

Shadev Edrikhan dan Siti Aisah :

Dibimbing oleh Ir. Rizka Wulandari Putri, S. T., M. T.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

ABSTRAK

Pabrik pembuatan Asam Akrilat dengan kapasitas produksi 100.000 ton/tahun ini direncanakan berdiri pada tahun 2030 di Gerem, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten. dengan perkiraan luas area sebesar 4 Ha. Bahan baku untuk pembuatan Asam Akrilat adalah Asam Laktat. Proses pembuatan Asam Akrilat ini mengacu pada Patent US 2023/0131529 A1 "*Method for Producing Acrylic Acid*". Reaksi berlangsung pada reaktor jenis *fixed bed reactor* dengan kondisi operasi (300 °C, 1,4 atm). Pabrik ini berbentuk Perseroan Terbatas (PT) dengan sistem organisasi *Line and Staff*, dipimpin oleh seorang Direktur dengan total karyawan 171 orang. Berdasarkan Analisis ekonomi, pabrik Asam Akrilat layak untuk didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi yaitu:

- *Total Capital Investment (TCI)* = US\$ 116.514.642,14
- *Total Production Cost (TPC)* = US\$ 299.363.678,39
- *Annual Cash Flow* = US\$ 85.359.495,96
- *Pay Out Time (POT)* = 1,56 tahun
- *Rate of Return on Investment (ROR)* = 65,08%
- *Discounted Cash Flow - ROR* = 73,09%
- *Break Event Point (BEP)* = 37,95%

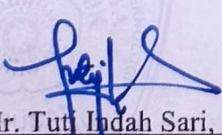
Kata Kunci : Asam Akrilat, *Fixed Bed Reactor*, Perseroan Terbatas

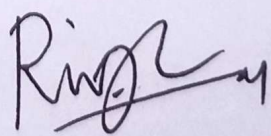
Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia

Palembang, Juli 2025

Pembimbing Tugas Akhir


Dr. Ir. Tutu Indah Sari, S.T., M.T., IPM.
NIP. 197502012000122001


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

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	v
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
RINGKASAN	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PEMBAHASAN UMUM.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan.....	2
1.3. Macam-Macam Metode Produksi	3
1.4. Sifat Fisik dan Kimia Bahan Baku dan Produk.....	5
1.4.1. Bahan Baku.....	5
1.4.2. Katalis.....	6
1.4.3. Produk	6
BAB II PERENCANAAN PABRIK	8
2.1 Alasan Pendirian Pabrik	8
2.2. Penetapan Kapasitas Produksi.....	8
2.3. Pemilihan Bahan Baku	10
2.4. Pemilihan Proses	10
2.5. Uraian Proses	14
BAB III LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	16
3.1 Lokasi Pabrik.....	16
3.1.1. Faktor Primer	17
3.2. Tata Letak Pabrik.....	19
3.3. Luas Area Pabrik.....	20
3.4. Pertimbangan Tata Letak Pabrik.....	20
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	23
4.1. Neraca Massa	23
4.1.1. Neraca Massa Mixing Point-01 (MP-01)	23
4.1.2. Neraca Massa Mixing Point-02 (MP-02).....	24
4.1.3. Neraca Massa Reaktor (R-01).....	24

4.1.4.	Neraca Massa Cooling Separator (CS-01).....	24
4.1.5.	Neraca Massa Evaporator (EV-01)	25
4.1.6.	Neraca Massa Decanter (DC-01).....	26
4.1.7.	Neraca Massa Kolom Distilasi (KD-01).....	26
4.1.8.	Neraca Massa Partial Condenser (PC-01).....	26
4.1.9.	Neraca Massa Accumulator (ACC-01)	26
4.1.10.	Neraca Massa Reboiler (RB-01).....	27
4.1.11.	Neraca Massa Pressure Swing Absorption (PSA-01).....	27
4.2.	Neraca Panas	27
4.2.1.	Neraca Panas Kompresor (K-01)	27
4.2.2.	Neraca Panas Mixing Point (MP-01).....	27
4.2.3.	Neraca Panas Heater (H-02)	28
4.2.4.	Neraca Panas Mixing Point (MP-02).....	28
4.2.5.	Neraca Panas Heater (H-01)	28
4.2.6.	Neraca Panas Reaktor (R-01).....	29
4.2.7.	Neraca Panas Cooler (C-01)	29
4.2.8.	Neraca Panas Kompresor (K-02)	29
4.2.9.	Neraca Panas Cooling Separator (CS-01).....	30
4.2.10.	Neraca Panas Evaporator (EV-01).....	30
4.2.11.	Neraca Panas Cooler (C-02).....	30
4.2.12.	Neraca Panas Decanter (DC-01).....	31
4.2.13.	Neraca Panas Expander (EXP-01).....	31
4.2.14.	Neraca Panas Kolom Distilasi (KD-01)	31
4.2.15.	Neraca Panas Parsial Kondensor (PC-01)	31
4.2.16.	Neraca Panas Akumulator (ACC-01)	31
4.2.17.	Neraca Panas Reboiler (RB-01)	32
4.2.18.	Neraca Panas Kompresor (K-03)	32
4.2.19.	Neraca Panas Pressure Swing Absorption (PSA-01).....	32
BAB V UTILITAS		33
5.1.	Unit Pengadaan Air	33
5.1.1.	Air Pendingin.....	33
5.1.2.	Air Umpan <i>Boiler</i> dan Penggerak Turbin.....	35
5.1.3.	Air Domestik	36
5.2.	Unit Pengadaan Steam	36
5.3.	Unit Pengadaan Listrik.....	37
5.3.1.	Kebutuhan Listrik Peralatan	37
5.3.2.	Kebutuhan Listrik Penerangan.....	38
5.3.3.	Total Kebutuhan Listrik.....	38
5.4.	Unit Pengadaan Bahan Bakar.....	39

5.4.1.	Bahan Bakar <i>Boiler</i>	39
5.4.2.	Bahan Bakar Generator.....	40
5.4.3.	Total Kebutuhan Bahan Bakar.....	41
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN.....		42
6.1.	Accumulator-01	42
6.2.	Cooler-01	42
6.2.1.	Cooler-01 A	42
6.2.2.	Cooler-01 B.....	43
6.3.	Cooler-02	44
6.3.1.	Cooler-02 A	44
6.3.2.	Cooler-02 B	45
6.4.	Cooling Separator-01.....	46
6.5.	Decanter-01.....	47
6.6.	Evaporator-01.....	48
6.7.	Expander-01	50
6.8.	Heater-01.....	51
6.8.1.	Heater-01 A	51
6.8.2.	Heater-01 B.....	52
6.9.	Heater-02.....	52
6.9.1.	Heater-02 A	52
6.9.2.	Heater-02 B.....	53
6.10.	Kolom Distilasi-01	54
6.11.	Kompresor-01	55
6.12.	Kompresor-02	56
6.13.	Kompresor-03	56
6.14.	Partial Condensor-01	57
6.15.	Pompa-01	58
6.16.	Pompa-02	59
6.17.	Pompa-03	60
6.18.	Pressure Reducing Valve-01.....	60
6.19.	Pressure Swing Adsorber-01.....	61
6.20.	Reaktor-01.....	62
6.21.	Reboiler-0	63
6.22.	Tanki-01.....	63
6.23.	Tanki-02.....	64
6.24.	Tanki-0.....	65
6.25.	Tanki-04.....	65
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN.....		67
7.1.	Bentuk Perusahaan.....	67

7.2	Struktur Organisasi Perusahaan.....	67
7.3.	Tugas dan Wewenang	68
7.3.1.	Dewan Komisaris	69
7.3.2.	Direktur	69
7.3.3.	Manajer Teknik dan Produksi.....	69
7.3.4.	Manajer Personalia dan Umum.....	70
7.3.5.	Manajer Marketing dan Finance	71
7.3.6.	Staf (Karyawan).....	72
7.3.7.	Operator.....	72
7.4.	Sistem Kerja.....	72
7.4.1.	Karyawan non-shift	72
7.4.2.	Karyawan <i>Shift</i>	73
7.5.	Penentuan Jumlah Karyawan	73
7.5.1.	Direct Operating Labor	73
7.5.2.	Indirect Operating Labor.....	75
BAB VIII	EKONOMI TEKNIK	78
8.1.	Keuntungan (Profitabilitas).....	79
8.1.1.	Total Penjualan Produk.....	79
8.1.2.	Perhitungan Annual Cash Flow	79
8.2.	Lama Waktu Pengembalian Modal	80
8.2.1.	Perhitungan Depresiasi	80
8.2.2.	Lama Pengangsuran Pengembalian Modal.....	80
8.2.3.	Pay Out Time (POT).....	81
8.3.	Total Modal Akhir.....	82
8.3.1.	Net Profit Over Total Life of Project (NPOTLP)	82
8.3.2.	Total Capital Sink.....	84
8.4.	Laju Pengembalian Modal.....	84
8.4.1.	Rate of Return Investment (ROR)	84
8.4.2.	Discounted Cash Flow Rate of Return (DCF-ROR).....	85
8.5.	Break Even Point (BEP).....	86
BAB IX	KESIMPULAN	89
DAFTAR PUSTAKA.....		90

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Data Impor Asam Akrilat di Indonesia.....	8
Tabel 2. 2. Perbandingan Proses Pembuatan Asam Akrilat.....	11
Tabel 3. 1. Rincian Area Pabrik.....	20
Tabel 5. 1. Total Kebutuhan Bahan Penunjang	33
Tabel 5. 2. Kebutuhan Air Pendingin	34
Tabel 5. 3. Kebutuhan Air.....	36
Tabel 5. 4. Kebutuhan Saturated Steam.....	36
Tabel 5. 5. Total Kebutuhan Steam	37
Tabel 5. 6. Kebutuhan Listrik Peralatan	37
Tabel 5. 7. Total Kebutuhan Bahan Bakar.....	41
Tabel 7. 1. Karyawan shift.....	73
Tabel 7. 2. Perincian Jumlah Karyawan	75
Tabel 8. 1. Tabel Penjualan Produk	79
Tabel 8. 2. Rincian Angsuran Pengembalian Modal (US\$).....	81
Tabel 8. 3. Kesimpulan Analisa Ekonomi	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Impor asam akrilat di Indonesia	9
Gambar 3. 1. <i>Lokasi pabrik berdasarkan Google Maps</i>	16
Gambar 3. 2. Tata Letak Pabrik	21
Gambar 3. 3. Tata Letak Peralatan.....	22
Gambar 7. 1. Struktur Organisasi Perusahaan	77
Gambar 8. 1. Break Even Point (BEP) Pabrik Asam Akrilat Kapasitas 100.000 Ton/tahun.....	87

DAFTAR NOTASI

1. Heat Exchanger (Heater, Cooler, Condenser, dan Reboiler)

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, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
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, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
l_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

2. 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 gravitasi, 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

3. Kompresor

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
P_W	: Power kompresor, HP
Q	: Kapasitas kompresor, ft ³ /menit
R_c	: Rasio kompresi
W	: Laju alir massa, lb/jam
ρ	: Densitas, lb/ft ³

4. Ekspander

k	: Konstanta Kompresi
η	: Efisiensi ekspander
P_{IN}	: Tekanan masuk, bar
P_{OUT}	: Tekanan keluar, bar
P_W	: Power ekspander, HP
Q	: Kapasitas ekspander, ft ³ /menit
W	: Laju alir massa, kg/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³

5. Reaktor

C_c	: Tebal korosi maksimum, in
C_{AO}	: Konsentrasi awal umpan, kmol/m ³
D_p	: Diameter katalis, m
D_s	: Diameter shell, m
D_T	: Diameter tube, in
F_{AO}	: Laju alir umpan, kmol/jam
H_R	: Tinggi shell reaktor, m
H_T	: Tinggi tube, m
k	: Konstanta kecepatan reaksi, m ³ /kmol.s
N_t	: Jumlah tube, buah
P	: Tekanan operasi, bar
τ	: Waktu tinggal, jam
p_t	: Tube pitch, in
S	: Tegangan kerja yang diizinkan, psi

t	: Tebal dinding reaktor, cm
V_k	: Volume katalis, m^3
V_T	: Volume reaktor, m^3
ρ, ρ_k	: Densitas fluida, katalis, kg/m^3
R	: Konstanta gas ideal, 8,314 kJ/kmol.K
σ_A	: Diameter molekul, cm
M	: Berat molekul, kg/kmol
E_A	: Energi aktivasi, kJ/kmol
V_E	: Volume ellipsoidal, m^3
H_S	: Tinggi silinder, m
h	: Tinggi tutup
H_T	: Tinggi total tanki, m
H_L	: Tinggi liquid, m
H_i	: Tinggi impeller, m
D_i	: Diameter impeller, m
W_b	: Lebar Baffle, m
g	: Lebar baffle pengaduk, m
r	: Panjang blade pangaduk, m
rb	: Posisi baffle dari dinding tanki, m

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. 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

8. Tangki

C_c	: Tebal korosi maksimum, in
D	: Diameter tangki, m
E_j	: Efisiensi pengelasan

P	: Tekanan desain, psi
S	: Tegangan kerja diizinkan, psi
t	: Tebal dinding tangki, cm
V	: Volume tangki, m ³
W	: Laju alir massa, kg/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³

9. Evaporator

V	: Volume, m ³
D	: Diameter, m
V _e	: Volume Elipsoidal, m ³
V _s	: Volume Silinder, m ³
H _s	: Tinggi Silinder, m
H _e	: Tinggi Elipsoidal, m
C _c	: Tebal korosi maksimum, in
P	: Tekanan, atm
f	: Working Stress Allowable, atm
E	: Joint Efficiency
t	: Tebal kolom, in
OD	: Outside Diameter, m
ρ	: Densitas, kg/m ³
W	: Laju Alir, kg/jam

10. Decanter

P	: Tekanan, atm
T	: Suhu, °C
W	: Laju alir, kg/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³
Q	: Volumetrik Flowrate, m ³ /jam
μ	: Viskositas, cP
U _d	: Settling Velocity, m
L _c	: Volumetric flowrate continues phase, m ³ /jam
A _i	: Interphase of area, m ²

D	: Diameter, m
r	: Jari-jari, m
H	: Panjang kolom, m
I	: Dispersi Band, m
t_r	: Residence time of droplet, s
A_p	: Pipa area, m^2
D_p	: Diameter pipe, m
Z_t	: Light liquid take off, m
Z_i	: Tinggi Interface, m
Z_a	: Heavy liquid take ff, m
Cc	: Tebal korosi maksimum, in
f	: Working Stress Allowable, atm
E	: Joint Efficiency
t	: Tebal kolom, in
Cc	: Tebal korosi maksimum, in
OD	: Outside Diameter, m
ID	: Inside Diameter, m

11. Cooling Separator

V	: Volume, m^3
D	: Diameter, m
V_e	: Volume Elipsoidal, m^3
V_s	: Volume Silinder, m^3
H_s	: Tinggi Silinder, m
H_e	: Tinggi Elipsoidal, m
Cc	: Tebal korosi maksimum, in
P	: Tekanan, atm
f	: Working Stress Allowable, atm
E	: Joint Efficiency
t	: Tebal kolom, in
OD	: Outside Diameter, m
W_e	: Evaporative Loss, kg/jam
W_d	: Drift Loss, kg/jam

W_b	: Blowdown, kg/jam
M_w	: Make up Water, kg/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³
W	: Laju Alir, kg/jam

12. Pressure Swing Adsorption

P	: Tekanan, atm
T	: Suhu, °C
W	: Laju alir, kg/jam
ρ	: Densitas, kg/m ³
D	: Diameter, m
r	: Jari-jari, m
H	: Panjang kolom, m
I	: Dispersi Band, m
t	: Holding Time, s
V_k	: Volume Kolom, m ³
V_b	: Volume bed, m ³
V_t	: Volume total, m ³
C_c	: Tebal korosi maksimum, in
f	: Working Stress Allowable, atm
E	: Joint Efficiency
t	: Tebal kolom, in
C_c	: Tebal korosi maksimum, in
OD	: Outside Diameter

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA	94
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	16
LAMPIRAN III PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT	198
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	360
LAMPIRAN V TUGAS KHUSUS	385

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Latar Belakang

Asam akrilat ialah suatu senyawa kimia dengan rumus molekul ($C_3H_4O_2$) yang memiliki manfaat untuk industri kimia yaitu sebagai bahan baku ataupun bahan intermediate. Asam akrilat sering digunakan untuk pembuatan bahan baku ester akrilat, produksi polimer, industri cat, bahan perekat, flokulan, surfaktan, pengkilap lantai (*floor polisher*). Asam akrilat juga digunakan pada industri kosmetik, industri tekstil dan juga bahan utama dalam membuat produk *Super Absorbent Polymer* (SAP), SAP ini turunan asam akrilat. Salah satu contoh dari produk SAP ini adalah diapers (popok sekali pakai) yang sudah diproduksi di negara Jepang, Eropa, Amerika dan juga China.

Ketersediaan pabrik asam akrilat di Indonesia masih terbatas apabila jika dibandingkan dengan China dan juga Jepang, yang memiliki kapasitas produksi yang jauh lebih besar. Meskipun Indonesia punya sumber daya alam yang melimpah serta pasar yang strategis, pabrik asam akrilat yang ada saat ini belum mampu menutupi kebutuhan dalam negeri secara optimal. PT Nippon Shokubai merupakan satu-satunya pabrik asam akrilat yang telah berdiri di Indonesia berlokasi di Cilegon yang memiliki kapasitas sebesar 140.000 ton/tahun. Kebutuhan senyawa asam akrilat pada Indonesia masih bergantung terhadap impor dari negara lain seperti China, Jepang, dan juga Korea Selatan karena pabrik yang ada di Indonesia belum dapat menutupi kebutuhan pada negeri ini. Oleh karena itu, pengembangan pabrik asam akrilat di dalam negeri menjadi sangat penting untuk memperkuat ketahanan industri dan mengurangi ketergantungan pada produk impor. Hal ini juga berpotensi membuka lapangan pekerjaan baru bagi masyarakat.

Proses pembuatan asam akrilat menggunakan bahan baku berupa asam laktat. Asam laktat ini masih di impor dari Gorgels Applitech Co., Ltd and Cellulac di China, dikarenakan di Indonesia masih belum tersedia pabrik yang menghasilkan asam laktat. Walaupun asam laktat masih di impor, jika dibandingkan berdasarkan harga dari bahan baku dan produk, ini masih menguntungkan karena harga jual asam akrilat lebih mahal jika dibandingkan dengan harga asam laktat.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Produksi asam akrilat secara komersial telah dimulai sejak tahun 1920, namun pemanfaatannya secara luas baru berlangsung sekitar tahun 1925. Awalnya, asam akrilat diproduksi melalui jalur Asetilena, metode yang dikembangkan oleh Walter Reppe. Dalam proses ini, asetilena direaksikan bersama air dan nikel karbonil untuk menghasilkan asam akrilat. Seiring waktu, metode Reppe mengalami perkembangan lebih lanjut oleh perusahaan Rohm and Haas yang pada tahun 1976 memperkenalkan proses baru, yaitu oksidasi propilena. Di Amerika Serikat sendiri, terdapat perusahaan besar yang memproduksi asam akrilat, yakni Rohm and Haas Co., Union Carbide, Celanese, Dow Badische, serta B. F. Goodrich.

Rohm and Haas Company didirikan pada tahun 1909 oleh Otto Rohm dan Hermann Haas di Philadelphia, Pennsylvania, Amerika Serikat. Perusahaan ini awalnya berfokus pada pengembangan dan produksi bahan kimia khusus, termasuk lem dan pelapis. Pada tahun 1930-an, Rohm and Haas mulai memproduksi metil metakrilat dan polimetil metakrilat, yang kemudian dikenal sebagai bahan akrilik. Pabrik utama mereka di Deer Park, Texas, dibangun pada tahun 1947 dan menjadi salah satu fasilitas terbesar mereka dengan kapasitas produksi lebih dari 2 miliar pon per tahun. Pada tahun 1976, perusahaan ini memodifikasi proses Reppe untuk menghasilkan asam akrilat melalui oksidasi propilen.

Pada tahun 1917, perusahaan Union Carbide Corporation (UCC) didirikan sebagai produsen bahan kimia dan energi. UCC dikenal sebagai salah satu perusahaan pertama yang menerapkan metode oksidasi propilen untuk menghasilkan asam akrilat, yang menjadi salah satu produk utama mereka. Pada tahun 1918, perusahaan Celanese didirikan dan dikenal sebagai pelopor dalam produksi bahan kimia berbasis asetil. Celanese menggunakan proses *propiolactone route* untuk memproduksi asam akrilat, yang memungkinkan mereka untuk memasuki pasar akrilat dengan cara yang efisien. Dow Badische Operate merupakan anak perusahaan dari Dow Chemical Company yang berdiri sejak tahun 1897. Dalam produksinya, perusahaan ini mengadopsi metode Reppe dengan menerapkan tekanan tinggi pada tahap esterifikasi untuk memperoleh senyawa etil, butil, dan 2-etil heksil ester, serta asam akrilat. Sementara itu, B.F. Goodrich, perusahaan yang telah berdiri sejak tahun 1869, menggunakan jalur sintesis propiolakton (*propiolactone route*) sebagai teknik utama dalam menghasilkan asam akrilat.

1.3. Macam-Macam Metode Produksi

Berikut merupakan berbagai metode proses produksi asam akrilat:

1) Hidrolisis Etilen Sianohidrin

Metode ini melibatkan reaksi hidrolisis etilen sianohidrin menggunakan asam sulfat sebagai reaktan. Proses ini menghasilkan produk utama yaitu asam akrilat dan produk sampingnya yaitu amonium bisulfat, dengan penggunaan asam sulfat berkonsentrasi 85%.

Reaksi:



2) Karboksilasi Asetilen

Asam akrilat diproduksi secara komersial dengan karboksilasi asetilen dan memisahkan nikel klorida, yang kemudian dikembalikan ke dalam proses reaksi sintesis nikel karbonil. Sintesa ini akan terbentuk *side product* berupa asam propionat, yang nantinya sulit diseparasi dari produk utama yaitu asam akrilat.

Reaksi :



3) Dehidrasi Gliserol – Oksidasi Akrolein

Proses ini memanfaatkan gliserol yang termasuk produk samping dari pembuatan biodiesel. Dalam tahap pertama, gliserol dikonversi menjadi akrolein melalui reaksi dehidrasi menggunakan katalis. Selanjutnya, akrolein diubah menjadi asam akrilat melalui reaksi oksidasi yang juga menggunakan katalis.

Reaksi:

Reaksi 1 (Dehidrasi gliserol):



Reaksi 2 (Oksidasi Akrolein):



4) Hidrolisis Akrilonitril

Proses ini melibatkan reaksi hidrolisis antara akrilonitril, H_2SO_4 , dan air dengan suhu 100°C untuk membentuk asam akrilat. Namun, salah satu

kelemahan utama dari proses hidrolisis ini yaitu biaya bahan baku yang dibutuhkan mahal.

Reaksi:



5) Oksidasi Metanol – Kondensasi Asam Asetat dan Formaldehid

Proses pembuatan asam akrilat dimulai dengan mengoksidasi metanol menjadi formaldehid, biasanya dengan menggunakan oksigen dari udara dan bantuan katalis. Setelah formaldehid terbentuk, kemudian direaksikan dengan asam asetat dalam kondisi tertentu dengan bantuan katalis, menghasilkan asam akrilat sebagai produk utama.

Reaksi:

Reaksi 1 (Oksidasi Metanol):



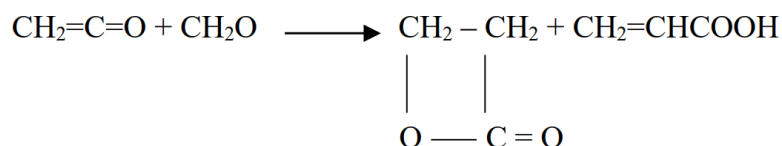
Reaksi 2 (Kondensasi Asam Asetat dan Formaldehid):



6) Pirolisis Ketena

Proses ini dimulai dengan pemrosesan asam asetat atau aseton yang dipanaskan (pirolisis) untuk menghasilkan ketene. Ketena yang terbentuk kemudian direaksikan dengan formaldehid untuk menghasilkan β -propiolakton. Selanjutnya, β -propiolakton tersebut diubah menjadi asam akrilat.

Reaksi:



7) Oksidasi Propilen dan Akrolein

Proses pembuatan asam akrilat melalui dua tahap oksidasi dimulai dengan oksidasi propilen menjadi akrolein. Pada tahap pertama, propilen dan oksigen akan direaksikan pada suhu dan tekanan tinggi, menghasilkan akrolein. Selanjutnya, akrolein dioksidasi lebih lanjut menjadi asam akrilat. Kedua tahap ini umumnya dilakukan pada katalis tembaga atau senyawa berbasis tembaga.

Reaksi:

Reaksi 1 (Oksidasi Propilen):



Reaksi 2 (Oksidasi Akrolein):



8) Dehidrasi Asam Laktat

Proses pembuatan asam akrilat dapat dengan cara dehidrasi asam laktat, asam laktat direaksikan pada suhu yang tinggi dengan kondisi dehidrasi untuk menghilangkan molekul air. Reaksi dehidrasi ini menghasilkan asam akrilat sebagai produk utama. Proses ini dilakukan dengan bantuan katalis untuk mempercepat reaksi dan meningkatkan hasil.

Reaksi:



1.4. Sifat Fisik dan Sifat Kimia dari Bahan Baku serta Produk

Produksi asam akrilat harus memperhatikan beberapa sifat fisik dan kimia dari bahan baku yang akan dibuat.

1.4.1. Bahan Baku

Asam laktat merupakan bahan baku utama dalam proses sintesis asam akrilat. Proses produksi ini melibatkan sejumlah senyawa dengan karakteristik fisik dan kimia tertentu, baik dari bahan bakunya maupun dari produk akhirnya, yakni asam akrilat itu sendiri.

1) Asam Laktat

Wujud	: Liquid
Rumus Molekul	: $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$
Berat Molekul (g/mol)	: 90,08
Titik Didih ($^{\circ}\text{C}$)	: 122
Titik Lebur ($^{\circ}\text{C}$)	: 16,8
Titik Beku (K)	: 291,15
Temperatur Kritis (K)	: 616
Tekanan Kritis(bar)	: 59,65
<i>Specific Gravity</i>	: 1,249
Densitas (g/cm ³)	: 1,2060

(sumber: Yaws, 1999 dan Pubchem)

1.4.2. Katalis

Katalis yang digunakan dalam proses pembuatan asam akrilat adalah $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. Sifat fisika dan kimia dari katalis tersebut sebagai berikut.

Berat Molekul (g/mol)	: 310,18
Bentuk	: Bubuk putih
Densitas (g/cm ³)	: 3,14 (anhidrat)
Titik Lebur (°C)	: 1670
Kelarutan	: Larut dalam air namun dalam alkohol, asam asetat, asam klorida encer, dan asam nitrat tidak larut

(sumber: Pubchem)

1.4.3. Produk

1) Asam Akrilat

Wujud	: Liquid
Rumus Molekul	: $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$
Berat Molekul (g/mol)	: 72,064
Titik Didih (°C)	: 142
Titik Lebur (°C)	: 13,5
Titik Beku (K)	: 286,65
Temperatur Kritis (K)	: 615
Tekanan Kritis(bar)	: 56,60
<i>Specific Gravity</i>	: 1,05
Densitas (g/cm ³)	: 1,05

(sumber: Yaws, 1999 dan Pubchem)

2) Air

Wujud	: Liquid
Rumus Molekul	: H_2O
Berat Molekul (g/mol)	: 18,015
Titik Didih (°C)	: 100
Titik Lebur (°C)	: 0
Titik Beku (°C)	: 0
Temperatur Kritis (K)	: 647,13

Tekanan Kritis (bar) : 220,55

Specific Gravity : 1,0

Densitas (g/cm³) : 0,9950

(sumber: Yaws, 1999 dan Pubchem)

3) CO

Wujud : Gas

Rumus Molekul : CO

Berat Molekul (g/mol) : 28,01

Titik Didih (°C) : -191,5

Titik Lebur (°C) : -205,02

Titik Beku (K) : 68,15

Temperatur Kritis (K) : 132,92

Tekanan Kritis(bar) : 34,99

Densitas (g/cm³) : 0,789 g/cm³, cair 1,250 g/L di 0 °C, 1 atm.

1,145 g/L di 25 °C, 1 atm.

(sumber: Yaws, 1999 dan Pubchem)

4) Asetaldehida

Wujud : Liquid

Rumus Molekul : C₂H₄O

Berat Molekul (g/mol) : 44,053

Titik Didih (°C) : 20,8

Titik Lebur (°C) : -123,4 °C

Titik Beku (K) : 150,15

Temperatur Kritis (K) : 461,0

Tekanan Kritis (bar) : 55,5

Specific Gravity : 0,778

Densitas (g/cm³) : 0,784

(sumber: Yaws, 1999 dan Pubchem)

DAFTAR PUSTAKA

- Aida, T. M., Ikarashi, A., Saito, Y., Watanabe, M., Smith Jr, R. L., & Arai, K. (2009). Dehydration of lactic acid to acrylic acid in high temperature water at high pressures. *The Journal of Supercritical Fluids*, 50(3), 257-264.
- Alibaba.com: Manufactures, Supplier, and Products. 2024. Daftar Harga Bahan Baku dan Produk. (Online). www.alibaba.com. (Diakses pada tanggal 13 Mei 2025)
- Badan Pusat Statistik. 2024. Data Ekspor & Impor Asam Akrilat di Indonesia. (Online). <https://www.bps.go.id/exim/>. (Diakses pada Tanggal 10 Desember 2024).
- Bank Indonesia. 2024. Kurs Transaksi Jual Beli Rupiah dan Dolar. (Online). <https://www.bi.go.id/id/statistik/informasi-kurs/transaksi-bi/default.aspx>. (Diakses pada tanggal 15 Mei 2025).
- Coulson, J. M., dan J. F. Richardson. 2015. *Chemical Engineering*, 6th Volume, 4th Edition. Elsevier: Inggris.
- Coulson, J., dan Jack, R. 2003. *Chemical Engineering 3 Edition Volume 6*. New York: Butterworth-Heinemann.
- Cq Hai Chemical Co., Ltd. 2025. Harga Katalis $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$. (Online). https://id.made-in-china.com/co_cnhchem/product_Manufacturer-Supply-Ca3-PO4-2-White-Powder-CAS-7758-87-4-Tricalcium-Phosphate_yuroeyysg.html?pv_id=1irgrd7sh5ea&faw_id=1irgrga3ub3&bv_id=1irgrga43d86&pbv_id=1irgrd6cf29f (Diakses pada tanggal 13 Mei 2025).
- Felder, R. M. 2000. *Elementary Principles of Chemical Process 3rd Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Google Maps. 2024. (Online). <https://www.google.com/maps>. (Diakses pada tanggal 10 Desember 2024).
- Hindriani, H. (2013). Pengendalian Pencemaran Sungai Ciujung Berdasarkan Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran. *Jurnal sumber daya air*, 9(2), 169-184.
- Hong Daeho, Choi Inho, Cha Seoncheol, Kang Tae Hun, Lim Joonhyung. 2024. Method For Producing Acrylic Acid Through Dehydration Of Lactic Acid,

And Apparatus For Manufacturing Same (Patent WO2024215008A1/2024)

Huang, L., Wai, M. H., & Kawi, S. (2023). On the catalytic vapor-phase dehydration of lactic acid to acrylic acid: a systematic review. *Reaction Chemistry & Engineering*, 8(3), 502-537.

Jakobsen Hugo, A. 2014. *Chemical Reactor Modeling: Multiphase Reactive Flows*. New York: Springer International Publishing.

Jakobsen Hugo, A. 2014. *Chemical Reactor Modeling: Multiphase Reactive Flows*. New York: Springer International Publishing.

Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill Book, Co.

Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3rd Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.

Matche. 2014. (Online). Data Harga Peralatan. <https://www.matche.com>. Diakses pada tanggal 12 Mei 2025.

McCabe, W. L. 1995. *Unit Operations of Chemical Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Co.

Mersmann, A., Kind, M., dan Stichlmair, J. 2011. Thermal separation technology. *Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag*. doi, 10, 978-3.

Mi Kyung KIM, Hyebin KIM, Jaeik LEE, Eunkyo KIM. 2023. Method For Producing Acrylic Acid (US 2023/0131529A1)

Monnery, W.D., and Svreck, W. Y. 1994. *Successfully Specify Three-Phase Separators*. Calgary: Chemical Engineering Progress (CEP).

National Center for Biotechnology Information Pubchem. 2024. (Online). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. (Diakses pada tanggal 17 Desember 2024).

Overtoom, R., Fabricius, N., dan Leenhouts, W. 2009. Shell GTL, from bench scale to world scale. In *Proceedings of the 1st Annual Gas Processing Symposium*. 10-12 Januari 2009. Hal. 378-386.

Perry, R. H. and Green D. 1997. *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition*. New York: McGraw - Hill Book Company.

- Peters, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering, 4 th Edition*. New York: Mc Graw Hill International Book Co.
- Richardson's *Chemical Engineering 5th Edition*, Volume 2: Particle Technology & Separation Processes. New York: Butterworth-Heinemann.
- Rohman, A. 2017. *Buku dasar-dasar manajemen*. Malang: Inteligensia Media
- Salsabila, A., R., Nandiyanto, A., B., D., Ragadhita, R. (2023). DESAIN REAKTOR UNTUK PRODUKSI NANOPARTIKEL ZnO. *Jinggo: Jurnal Inovasi Teknologi Manufaktur, Energi, dan Otomotif*. Vol. 1(2): 70-77.
- Saragih, Y. (2024). SISTEM KONTROL TEMPERATURE TRANSMITTER PADA REAKTOR AP-545 DI PT. SINTAS KURAMA PERDANA. Aisyah *Journal Of Informatics and Electrical Engineering (AJIEE)*. Vol. 6(1): 27-34.
- Setyaki, P. A. B., dan Al Farqan, M. G. 2021. Kepemimpinan (leadership) berkarakter dalam kemajuan organisasi. Nusantara: *Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial*. Vol. 8(3): 427-435.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbolt, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Vataruk, W. M., Hall, R. S., dan J. Matley. 2002. Estimating Process Equipment Costs. *Chem. Eng.*, V. 95, No. 17, p. 66
- Vatavuk, W. M. (2002). Updating the CE plant cost index. *Chemical Engineering*, 109(1), 62-70.
- Welty, J. R, dkk. 2008. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer 5th Edition*. John Wiley & Sons, Inc.
- Wijaya, C., dan Rifa'i, M. 2016. *Dasar-dasar manajemen: mengoptimalkan pengelolaan organisasi secara efektif dan efisien*. Medan: Perdana Mulya Sarana.

Woerfel, J. B. 1995. *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization*.
AOCS Press.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. McGrawn Hill: Singapura.