

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN ASAM MONOKLOROASETAT
KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mengikuti
Ujian Sarjana pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

OLEH:

LIFIA

03031381520057

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2020

HALAMAN PENGESAHAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM MONOKLOROASETAT KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN

SKRIPSI

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana

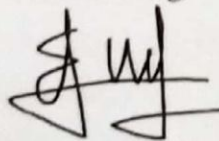
Oleh:

Lifia

NIM 03031381520057

Palembang, Oktober 2020

Pembimbing,



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

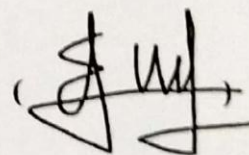
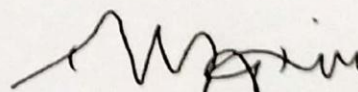
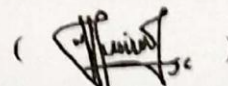
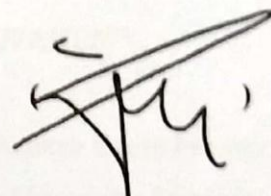
HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi dengan Judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Monokloroasetat Kapasitas 25.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan **Lifia** di hadapan tim penguji Sidang Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada Tanggal 11 Agustus 2020.

Palembang, 11 Agustus 2020

Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah berupa Skripsi,

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
NIP. 195810031986031003
2. Dr. Novia Sumardi, S.T., M.T. Ph.D.
NIP. 197311052000032003
3. Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc.
NIP. 196108121987031003
4. Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197505112000122001



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



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

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Lifia (03031381520057)
Sanas Zanadiya (03031381520059)

Judul:

**“PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN ASAM
MONOKLOROASETAT KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah melakukan perbaikan yang diberikan Dosen Penguji dalam sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 23 Juli 2020.

Tim Penguji,

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
2. Prof. Tuty Emilia Agustina, S.T., M.T., Ph.D.
3. Ir. Rosdiana Muin, M.T.

Dosen Pembimbing,



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

NIP. 197505112000122001

LEMBAR PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa :

Lifia

(03031381520057)

Judul:

**“PRA RENCANA PABRIK PEMBUATAN
ASAM MONOKLOROASETAT KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN”**

Mahasiswa tersebut telah melakukan perbaikan yang diberikan Dosen Penguji dalam sidang sarjana di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 11 Agustus 2020.

Tim Penguji,

1. Dr. Ir. H. Syaiful, DEA
2. Dr. Novia Sumardi, S.T., M.T., Ph.D.
3. Prof. Dr. Ir. Muhammad Said, M.Sc.

Dosen Pembimbing,



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

NIP. 197505112000122001

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Lifia
NIM : 03031381520057
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Monokloroasetat
Kapasitas 25.000 Ton/Tahun
Fakultas/Jurusan : Teknik/Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya dan partner atas nama **Sanas Zanadiya** 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.

Palembang, Oktober 2020



NIM. 03031381520057



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulisan Tugas Akhir yang berjudul “Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Monokloroasetat dengan Kapasitas 25.000 Ton/Tahun” dapat diselesaikan sesuai dengan waktu yang ditentukan. Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat kelulusan gelar Sarjana Strata Satu (S1) di Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.

Penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, pada kesempatan ini terima kasih disampaikan kepada:

- 1) Ibu Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dosen pembimbing tugas akhir.
- 2) Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan baik secara materi maupun moril.
- 3) Teman-teman yang telah memberikan motivasi dan saran.

Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Palembang, Oktober 2020

Penulis

ABSTRAK

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM MONOKLOROASETAT KAPASITAS 25.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, Oktober 2020

Lifia; Dibimbing oleh Elda Melwita, S.T., M.T., Ph.D.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xxvi + 467 halaman, 15 tabel, 7 gambar, 4 lampiran

RINGKASAN


Pabrik pembuatan asam monokloroasetat dengan kapasitas produksi 25.000 ton/tahun direncanakan berdiri pada tahun 2024 di Jalan Waduk Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat, dengan luas area sebesar 4,2 Ha. Pabrik berjalan secara kontinyu selama 24 jam/hari dalam 300 hari/tahun. Bahan baku pembuatan asam monokloroasetat adalah asam asetat dan klorin. Proses pembuatan asam monokloroasetat dalam pra rancangan ini mengacu pada US Patent No. 2019/0039986 A1 dengan proses klorinasi asam asetat. Proses klorinasi menggunakan katalis asetat anhidrida dalam reaktor *bubble column* yang beroperasi pada suhu 100°C dan tekanan 1,2 atm.

Pabrik akan didirikan dengan bentuk perusahaan Perseroan Terbatas (PT) dan sistem organisasi *Line and Staff* yang dipimpin oleh Direktur dengan total karyawan 135 orang. Berdasarkan hasil analisa ekonomi, pabrik asam monokloroasetat ini layak untuk didirikan karena telah memenuhi berbagai macam syarat dari parameter ekonomi sebagai berikut:

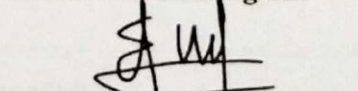
- | | |
|--|------------------------|
| a. <i>Total Capital Investment</i> | = US \$ 39,735,571.96 |
| b. <i>Selling price</i> | = US \$ 120,872,540.71 |
| c. <i>Total Production Cost</i> | = US \$ 76,028,569.32 |
| d. <i>Annual Cash Flow</i> | = US \$ 34,392,089.46 |
| e. <i>Pay Out Time</i> | = 1,03 tahun |
| f. <i>Rate of Return on Investment</i> | = 79,00% |
| g. <i>Discounted Cash Flow</i> | = 86,48% |
| h. <i>Break Event Point (BEP)</i> | = 22,00% |
| i. <i>Service Life</i> | = 11 tahun |

Kata Kunci: Asam Monokloroasetat, *Bubble Column Reactor*, Analisa Ekonomi

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

Palembang, Oktober 2020
Dosen Pembimbing TA


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

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR NOTASI.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xxvi
BAB I PEMBAHASAN UMUM	1
1.1. Pendahuluan.....	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan	1
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan	2
1.4. Sifat-sifat Fisika dan Kimia	3
BAB II PERENCANAAN PABRIK.....	9
2.1. Alasan Pendirian Pabrik.....	9
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi	9
2.3. Pemilihan Bahan Baku.....	11
2.4. Pemilihan Proses.....	11
2.5. Uraian Proses	12
BAB III LOKASI DAN LETAK PABRIK	15
3.1. Lokasi Pabrik	15
3.2. Tata Letak Pabrik.....	17
3.3. Perkiraan Luas Area.....	20
BAB IV NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	22
4.1. Neraca Massa.....	22

4.2.	Neraca Panas	32
BAB V UTILITAS.....		40
5.1.	Unit Pengadaan Steam	40
5.2.	Unit Pengadaan Air	41
5.3.	Unit Pengadaan Refrigeran	46
5.4.	Unit Pengadaan Listrik	47
5.5.	Unit Pengadaan Bahan Bakar	49
BAB VI SPESIFIKASI PERALATAN		52
6.1.	<i>Absorber-01 (AB-01)</i>	52
6.2.	<i>Accumulator-01 (ACC-01)</i>	53
6.3.	<i>Belt Conveyor-01 (BC-01)</i>	54
6.4.	<i>Condenser-01 (CD-01)</i>	55
6.5.	<i>Cooler-01 (C-01)</i>	56
6.6.	<i>Cooler-02 (C-02)</i>	57
6.7.	<i>Cooler-03 (C-03)</i>	58
6.8.	<i>Cooler-04 (C-04)</i>	59
6.9.	<i>Cooler-05 (C-05)</i>	60
6.10.	<i>Crystallizer-01 (CR-01)</i>	61
6.11.	<i>Elevator-01 (E-01)</i>	62
6.12.	<i>Filter-01 (F-01)</i>	63
6.13.	<i>Heat Exchanger-01 (HE-01)</i>	64
6.14.	<i>Heater-01 (H-01)</i>	65
6.15.	<i>Heater-02 (H-02)</i>	66
6.16.	<i>Heater-03 (H-03)</i>	67
6.17.	<i>Heater-04 (H-04)</i>	68
6.18.	KOLOM DISTILASI -01 (KD-01).....	69
6.19.	<i>Knock Out Drum-01 (KOD-01)</i>	70
6.20.	<i>Knock Out Drum-02 (KOD-02)</i>	71
6.21.	<i>Knock Out Drum-03 (KOD-03)</i>	72
6.22.	<i>Knock Out Drum-04 (KOD-04)</i>	73
6.23.	Pompa-01 (P-01).....	74

6.24.	Pompa-02 (P-02).....	75
6.25.	Pompa-03 (P-03).....	76
6.26.	Pompa-04 (P-04).....	77
6.27.	Pompa Vakum-01 (VP-01).....	78
6.28.	Pompa Vakum-02 (VP-02).....	79
6.29.	<i>Partial Condenser</i> -01 (PC-01).....	80
6.30.	<i>Partial Condenser</i> -02 (PC-02).....	81
6.31.	<i>Partial Condenser</i> -03 (PC-03).....	82
6.32.	Reaktor-01 (R-01).....	83
6.33.	Reaktor-02 (R-02).....	84
6.34.	<i>Reboiler</i> -01 (RB-01).....	85
6.35.	Tangki-01 (T-01).....	86
6.36.	Tangki-02 (T-02).....	87
6.37.	Tangki-03 (T-03).....	88
6.38.	Tangki-04 (T-04).....	89
6.39.	Tangki-05 (T-05).....	90
6.40.	Silo-01 (S-01).....	91
6.41.	<i>Vaporizer</i> -01 (VZ-01).....	92
BAB VII ORGANISASI PERUSAHAAN		93
7.1.	Bentuk Perusahaan.....	93
7.2.	Struktur Organisasi Perusahaan.....	93
7.3.	Tugas dan Wewenang.....	96
7.4.	Kepegawaian.....	101
7.5.	Sistem Kerja.....	101
7.6.	Penentuan Jumlah Karyawan.....	103
BAB VIII ANALISA EKONOMI.....		108
8.1.	Keuntungan (Profitabilitas).....	109
8.2.	Lama Waktu Pengembalian Modal.....	110
8.3.	Total Modal Akhir.....	112
8.4.	Laju Pengembalian Modal.....	114
8.5.	<i>Break Even Point</i> (BEP).....	115

8.6. Kesimpulan Analisa Ekonomi	118
BAB IX KESIMPULAN.....	119
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN I PERHITUNGAN NERACA MASSA	123
LAMPIRAN II PERHITUNGAN NERACA PANAS	189
LAMPIRAN III PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN	277
LAMPIRAN IV PERHITUNGAN EKONOMI	451

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Data Impor Asam Monokloroasetat.....	10
Tabel 2.2. Kelebihan dan Kekurangan Proses Pembuatan Asam Monokloro- asetat	12
Tabel 3.1. Rincian Area Pabrik	22
Tabel 5.1. Kebutuhan <i>Saturated Steam</i> 200°C.....	41
Tabel 5.2. Kebutuhan Air Pendingin.....	43
Tabel 5.3. Kebutuhan Air Domestik.....	46
Tabel 5.4. Total Kebutuhan Air dan Pabrik	47
Tabel 5.5. Kebutuhan Refrigeran	47
Tabel 5.6. Kebutuhan Listrik Peralatan.....	48
Tabel 5.7. Total Kebutuhan Listrik Pabrik Asam Monokloroasetat	50
Tabel 5.8. Total Kebutuhan Bahan Bakar	52
Tabel 7.1. Pembagian Jadwal Kerja Karyawan <i>Shift</i>	103
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Total Karyawan	106
Tabel 8.1. Angsuran Pengembalian Modal	112
Tabel 8.2. Kesimpulan Analisa Ekonomi	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kebutuhan Asam Monokloroasetat di Indonesia.....	11
Gambar 2.2. <i>Flowsheet</i> Proses Pembuatan Asam Monokloroasetat	15
Gambar 3.1. Peta Rencana Letak Lahan Pabrik	18
Gambar 3.2. Tata Letak Peralatan Pabrik.....	20
Gambar 3.3. <i>Lay Out</i> Area Pabrik	21
Gambar 7.1. Stuktur Organisasi Perusahaan	108
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	118

DAFTAR NOTASI

1. ABSORBER

A	=	Cross section area tower, m^2
BM_{AVG}	=	BM rata-rata, $kg/kmol$
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, $kg/m^2.s$
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	=	Tebal korosi yang diizinkan, m
E	=	Efisiensi pengelasan, <i>dimensionless</i>

ID, OD	= <i>Inside diameter, Outside diameter</i> , m
L	= Panjang <i>accumulator</i> , m
P	= Tekanan operasi, atm
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan
t	= Temperatur operasi, °C
V	= Volume total, m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, lb/ft ³

3. BELT CONVEYOR

C	= Faktor material
H	= Panjang <i>belt</i> , ft
THP	= Kapasitas <i>belt</i> , ton/jam
f	= Faktor keamanan, %
V	= Tinggi <i>belt</i> , ft
W _s	= Laju alir massa, kg/jam

4. COOLER, HEAT EXCHANGER, CONDENSOR, PARTIAL CONDENSER, REBOILER

A	= Area perpindahan panas, ft ²
a _a , a _p	= Area pada <i>annulus, inner pipe</i> , ft ²
a _s , a _t	= Area pada <i>shell, tube</i> , ft ²
a''	= <i>external surface</i> per 1 in, ft ² /in ft
B	= <i>Baffle spacing</i> , in
C	= <i>Clearance</i> antar <i>tube</i> , in
D	= Diameter dalam <i>tube</i> , in
D _e	= Diameter ekivalen, in
f	= Faktor friksi, ft ² /in ²
G _a	= Laju alir massa fluida pada <i>annulus</i> , lb/jam.ft ²
G _p	= Laju alir massa fluida pada <i>inner pipe</i> , lb/jam.ft ²
G _s	= Laju alir massa fluida pada <i>shell</i> , lb/jam.ft ²

G_t	= Laju alir massa fluida pada <i>tube</i> , lb/jam.ft ²
g	= Percepatan gravitasi
h	= Koefisien perpindahan panas, Btu/jam.ft ² .°F
h_i, h_{io}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar tube
ID	= <i>Inside Diameter</i> , ft
jH	= Faktor perpindahan panas
k	= Konduktivitas termal, Btu/jam.ft ² .°F
L	= Panjang <i>tube</i> , pipa, ft
LMTD	= <i>Logarithmic Mean Temperature Difference</i> , °F
N	= Jumlah <i>baffle</i>
N_t	= Jumlah <i>tube</i>
OD	= <i>Outside Diameter</i> , ft
P_T	= <i>Tube pitch</i> , in
ΔP_r	= <i>Return drop shell</i> , Psi
ΔP_s	= Penurunan tekanan pada <i>shell</i> , Psi
ΔP_t	= Penurunan tekanan <i>tube</i> , Psi
ΔP_T	= Penurunan tekanan total pada <i>tube</i> , Psi
Q	= Beban panas pada <i>heat exchanger</i> , Btu/jam
R_d	= <i>Dirt factor</i> , jam.ft ² .°F/Btu
R_e	= Bilangan Reynold, <i>dimensionless</i>
s	= <i>Specific gravity</i>
T_1, T_2	= Temperatur fluida panas <i>inlet, outlet</i> , °F
t_1, t_2	= Temperatur fluida dingin <i>inlet, outlet</i> , °F
T_c	= Temperatur rata-rata fluida panas, °F
t_c	= Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
U_c, U_d	= <i>Clean overall coefficient, design overall coefficient</i> , Btu/jam.ft ² .°F
W	= Laju alir massa fluida panas, lb/jam
w	= Laju alir massa fluida dingin, lb/jam
μ	= Viskositas, cP

5. CRYSTALLIZER

A	= area pertukaran panas, ft ²
B	= rasio berat solid dan cairan, %
C	= <i>corrosion allowance</i> , in
C _p	= <i>heat capacity</i> campuran, Btu/lb
D _i	= diameter <i>impeller</i> , m
D _p	= diameter partikel rata-rata, m
D _t	= diameter tangki, m
E	= efisiensi penyambungan, %
G _C	= konstanta gravitasi, m/s ²
g	= percepatan gravitasi, m/s ²
H _s	= tinggi silinder, m
H _e	= tinggi <i>ellipsoidal</i> , m
H _L	= tinggi <i>liquid</i> , m
h _i , h _{io}	= Koefisien perpindahan panas fluida bagian dalam dan luar
ID	= <i>inside diameter</i> , m
K _T	= faktor pengaduk
k	= <i>thermal conductivity</i> campuran, Btu/ft.jam
LMTD	= <i>logarithmic mean temperature difference</i> , °F
N	= kecepatan putaran kritis, rps
N _{Re}	= <i>Reynold Number</i>
N _{Pr}	= <i>Prandtl Number</i>
OD	= <i>outside diameter</i> , m
P	= tekanan desain, Psi
R	= jari-jari tangki, in
S	= <i>working stress</i> , Psi
S'	= <i>shape factor</i>
T ₁ , T ₂	= temperatur <i>inlet</i> , <i>outlet</i> fluida panas, °F
t	= ketebalan jaket, m
t ₁ , t ₂	= temperatur <i>inlet</i> , <i>outlet</i> fluida dingin, °F
ts	= ketebalan tangki, in

U_c	= <i>clean overall coefficient</i> , Btu/jam.ft ² .°F
U_d	= <i>design overall coefficient</i> , Btu/jam.ft ² .°F
V	= <i>cinematic viscosity</i> , m ³ /s
W_b	= lebar <i>baffle</i>
$\Delta\rho$	= selisih densitas <i>solid-liquid</i> , kg/m ³
μ	= viskositas campuran, cP
ρ	= densitas campuran <i>solid-liquid</i> , kg/m ³

6. ELEVATOR

f	= faktor keamanan, %
W_s	= laju alir massa, kg/jam

7. FILTER

A	= Area Filtrasi, m ²
C	= Konsentrasi solid dalam <i>feed</i> , kg/m ³
m_f	= <i>Flowrate feed</i> , kg/jam
V	= Volume <i>liquid</i> , m ³
ρ_c	= Densitas <i>cake</i> , kg/m ³
ρ_s	= Densitas campuran, kg/m ³
Θ	= Waktu filtrasi, menit

8. KOLOM DISTILASI

A_d	= <i>Downcomer area</i> , m ²
A_t	= <i>Tower area</i> , m ²
A_n	= <i>Net area</i> , m ²
A_a	= <i>Active area</i> , m ²
A_b	= <i>Hole area</i> , m ²
A_{da}	= <i>Aerated area</i> , m ²
C	= Faktor korosi yang dizinkan, m
C_{sb}	= Kapasitas <i>vapor</i> , m/det
DI	= <i>Clearance</i> , mm
d_h	= Diameter <i>hole</i> , mm
d_c	= Diameter kolom, mm

E	= <i>Joint efficiency, dimensionless</i>
e	= <i>Total entrainment, kg/det</i>
F	= <i>Friction factor, dimensionless</i>
F _{iv}	= <i>Paramater aliran, dimensionless</i>
H	= <i>Tinggi kolom, m</i>
h _a	= <i>Aerated liquid drop, m</i>
h _f	= <i>Froth height, mm</i>
h _w	= <i>Weir height, mm</i>
h _σ	= <i>Weep point, cm</i>
L _w	= <i>Weir length</i>
L	= <i>Laju alir massa liquid solvent, kg/det</i>
N _m	= <i>Jumlah tray minimum</i>
ΔP	= <i>Pressure drop</i>
P	= <i>Tekanan desain, atm</i>
q	= <i>Laju alir volume umpan solvent, m³/det</i>
Q	= <i>Laju alir volume umpan gas, m³/det</i>
R	= <i>[L/D] reflux ratio, dimensionless</i>
R _h	= <i>Radius Hydrolic, m</i>
R _m	= <i>Refluks minimum</i>
R _{eh}	= <i>Reynold modulus, dimensionless</i>
S	= <i>Working stress, N/m²</i>
S _s	= <i>Stage umpan</i>
St	= <i>Jumlah stages</i>
T	= <i>Temperatur operasi, °C</i>
T _{av}	= <i>Temperatur rata-rata, °C</i>
t	= <i>Tebal dinding vessel, m</i>
U _f	= <i>Kecepatan aerated mass, U_f</i>
V	= <i>Laju alir massa umpan gas, kg/det</i>
V _d	= <i>Downcomer velocity, m/det</i>
α	= <i>Relatif volatil, dimensionless</i>
Δ	= <i>Liquid gradien, cm</i>

ρ_g	= Densitas gas, kg/m ³
ρ_l	= Densitas <i>liquid</i> , kg/m ³
ψ	= <i>Fractional entrainment, dimensionless</i>

9. KNOCK OUT DRUM

A	= <i>Vessel Area</i> Minimum, m ²
C	= <i>Corrosion</i> maksimum, in
D	= Diameter <i>Vessel</i> minimum, m
E	= <i>Joint</i> efisiensi
H _L	= Tinggi <i>Liquid</i> , m
H _T	= Tinggi <i>Vessel</i> , m
P	= Tekanan desain, Psi
Q _V	= Laju alir <i>Volumetric</i> massa, m ³ /jam
Q _L	= <i>Liquid Volumetric flowrate</i> , m ³ /jam
S	= <i>Working stress Allowable</i> , Psi
t	= tebal dinding tangki, m
U _v	= Kecepatan uap maksimum, m/s
V _t	= Volume <i>Vessel</i> , m ³
V _h	= Volume <i>Head</i> , m ³
V _t	= Volume <i>Vessel</i> , m ³
μ	= Viskositas, cP
ρ	= Densitas, kg/m ³
ρ_g	= Densitas gas, kg/m ³
ρ_l	= Densitas <i>Liquid</i> , kg/m ³

10. POMPA

A	= Area alir pipa, in ²
BHP	= <i>Brake Horse Power</i> , HP
D _{i opt}	= Diameter optimum pipa, in
E	= <i>Equivalent roughness</i>
f	= Faktor friksi
FK	= Faktor keamanan

g_c	= Percepatan gravitasi, ft/s^2
Gpm	= Gallon per menit
$H_f \text{ suc}$	= Total friksi pada <i>suction</i> , ft
$H_f \text{ dis}$	= Total friksi pada <i>discharge</i> , ft
H_{fs}	= <i>Skin friction loss</i>
H_{fsuc}	= <i>Total suction friction loss</i>
H_{fc}	= <i>Sudden Contraction Friction Loss</i> (ft lb_m/lb_f)
H_{fc}	= <i>Sudden expansion friction loss</i> (ft lb_m/lb_f)
ID	= <i>Inside diameter</i> pipa, in
K_C, K_S	= <i>Contraction, expansion loss contraction</i> , ft
L	= Panjang pipa, ft
L_e	= Panjang ekuivalen pipa, ft
NPSH	= <i>Net Positive Suction Head</i> (ft)
N_{Re}	= <i>Reynold number</i> , dimension less
P_{vp}	= Tekanan uap, Psi
Q_f	= Laju alir volumetrik
V_f	= Kapasitas pompa, lb/jam
V	= Kecepatan alir
ΔP	= Beda tekanan, Psi

11. POMPA VAKUM

a''	= <i>external surface</i> per 1 in, $\text{ft}^2/\text{in ft}$
BHP	= <i>Break Horse Power</i> , HP
f	= faktor keamanan, %
H_f	= total <i>head</i> , ft.lbf/lb
H_{fc}	= <i>sudden contraction friction loss</i> , ft.lbf/lb
H_{ff}	= <i>fitting and valve friction loss</i> , ft.lbf/lb
H_{fs}	= <i>skin friction loss</i> , f.lbf/lb
H_{fsuc}	= <i>total suction friction loss</i> , ft.lbf/lb
H_p	= <i>pressure head</i> , ft.lbf/lb
H_{suc}	= <i>suction head</i> , ft.lbf/lb
H_v	= <i>velocity head</i> , ft/lbf/lb

ID, OD	= diameter dalam, luar pipa, in
L	= panjang pipa, ft
M	= jumlah mol aliran, mol
m_s	= laju alir massa, kg/jam
NPSH	= <i>Net Positive Suction Head</i> , ft.lbf/lb
N_{Re}	= <i>Reynold number</i> , dimensionless
P	= tekanan, lb/ft ²
P_0	= tekanan inisial, Pa
P_1	= tekanan akhir, Pa
P_{uap}	= tekanan uap, lbf/ft ²
Q_f	= kapasitas pompa, ft ³ /jam
R	= tetapan gas ideal, 8,314 J/mol.K
T	= temperatur, °C
T	= <i>evacuation time</i> , jam
V	= kapasitas <i>suction</i> pompa
V_d	= <i>discharge velocity</i> , ft/jam
Z_s	= <i>static suction</i> , ft
ε	= <i>equivalent roughness</i> , ft
η	= efisiensi pompa, %
μ	= viskositas, cP
ρ	= densitas fluida, kg/m ³

12. REAKTOR

C_{A0}	= konsentrasi awal umpan masuk, kmol/m ³
C	= Tebal korosi yang dizinkan, atm
D_K	= Diameter katalis, cm
F_{A0}	= Laju alir umpan, kmol/jam
g	= Gravitasi
H_R	= Tinggi Reaktor, m
ID	= Inside Diameter, m
k	= Konstanta laju reaksi, m ³ /kmol.s
N	= Bilangan Avogadro

OD	= Outside Diameter, m
P	= Tekanan, atm
Q	= <i>Volumetric Flowrate</i> Umpan
Re	= Bilangan Reynold
S	= <i>Working Stress</i> yang diizinkan, atm
T	= Temperatur. °C
t	= Tebal dinding vessel
V _k	= Volume katalis, m ³
V _t	= Volume reaktor, m ³
W _k	= Berat katalis
X	= Konversi
ρ	= Densitas
φ	= Porositas Katalis
σ	= Diameter Partikel, cm

13. TANGKI

C	= Tebal korosi yang diizinkan
D	= Diameter tangki, m
E	= Efisiensi penyambungan, dimensionless
h	= Tinggi <i>head</i> , m
H	= Tinggi silinder, m
H _T	= Tinggi total tangki, m
P	= Tekanan Operasi, atm
S	= <i>Working stress</i> yang diizinkan, Psia
T	= Temperatur Operasi, K
t	= Lama persediaan/penyimpanan, hari
V _h	= Volume <i>ellipsoidal head</i> , m ³
V _s	= Volume silinder, m ³
V _t	= Volume tangki, m ³
W	= Laju alir massa, kg/jam
ρ	= Densitas, kg/m ³

14. SILO

C	= Faktor korosi, in
D	= Diameter <i>shell</i> , ft
d	= Diameter ujung konis, ft
E	= <i>Welded joint efficiency</i>
F	= <i>Allowance stress</i> , psi
h	= Tinggi silo, ft
G	= Laju Alir Massa, kg/s
g	= Percepatan Gravitasi, m/s ²
P	= Tekanan, atm
T	= Temperatur, K
V _t	= Volume tangki, m ³
W _s	= Laju alir massa, kg/jam
α	= <i>angle of repose</i>
ρ	= Densitas, kg/m ³
θ	= Sudut Silo

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I	Perhitungan Neraca Massa	124
Lampiran II	Perhitungan Neraca Panas	190
Lampiran III	Perhitungan Spesifikasi Peralatan	278
Lampiran IV	Perhitungan Ekonomi	452

BAB I

PEMBAHASAN UMUM

1.1. Pendahuluan

Perkembangan industri kimia di Indonesia berkembang dengan pesat. Industri kimia di Indonesia meliputi petrokimia, agrokimia, polimer, farmasi, cat, dan oleokimia. Pesatnya peningkatan jumlah industri akan mendorong Indonesia menjadi negara maju. Industri bahan kimia menjadi salah satu sektor industri yang dapat meningkatkan pendapatan dan memajukan perekonomian Indonesia. Industri kimia yang antara lain meliputi industri penghasil bahan kimia, baik sebagai bahan baku atau bahan *intermediate* terus dikembangkan untuk makin memperdalam struktur industri secara efisien dan mampu bersaing sehingga mampu mengurangi ketergantungan bahan-bahan impor. Indonesia berpeluang membangun bisnis dalam hal pembangunan industri kimia yang semakin lama semakin pesat pembangunan dan prospek yang didapat semakin cerah. Pemenuhan akan beberapa kebutuhan bahan kimia di Indonesia masih belum mampu dilakukan sehingga harus mengimpor dari negara lain.

Asam kloroasetat, yang secara industri dikenal sebagai asam monokloroasetat (MCA), adalah senyawa organoklorin dengan formula $\text{ClCH}_2\text{CO}_2\text{H}$. Asam kloroasetat dan garam natriumnya merupakan salah satu produk bahan baku yang penting dalam industri diantara tiga produk klorinasi asam asetat lainnya. Kebutuhan asam monokloroasetat selalu meningkat setiap tahun di Indonesia, namun pemenuhannya masih dilakukan dengan cara mengimpor dari Cina, Jerman, Belanda, India dan Amerika Serikat karena pabrik asam monokloroasetat belum ada di Indonesia.

1.2. Sejarah dan Perkembangan

Asam monokloroasetat pertama kali dibuat (dalam bentuk tidak murni) oleh ahli kimia Perancis Félix LeBlanc (1813-1886) pada tahun 1843 dengan mengklorinasi asam asetat memanfaatkan sinar matahari. Tahun 1857 asam monokloroasetat dibuat (dalam bentuk murni) oleh kimiawan Jerman Reinhold

Hoffmann (1831-1919) dengan merefluks asam asetat glasial menggunakan klorin dan sinar matahari. Kemudian pada tahun 1857 oleh ahli kimia Prancis Charles-Adolphe Wurtz, asam monokloroasetat diproduksi dengan mereaksikan kloroasetil klorida (ClCH_2COCl) dengan air.

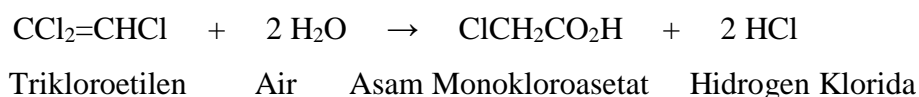
1.3. Macam-macam Proses Pembuatan

Proses pembuatan asam kloroasetat secara industri dapat dibuat melalui dua proses, yaitu hidrolisis trikloroetilen dan klorinasi asam asetat terkatalisis.

1.3.1. Hidrolisis Trikloroetilen

Jumlah yang sama dari trikloroetilen dan asam sulfat 75% direaksikan pada $130\text{--}140^\circ\text{C}$ dalam proses kontinu sehingga dengan konversi penuh trikloroetilen, campuran reaksi yang dihasilkan mengandung sekitar 50% asam kloroasetat dan 1–2% air. Campuran ini didistilasi vakum untuk menghasilkan asam kloroasetat murni. Selama proses ini, uap dicuci dengan air, yang dikembalikan ke asam sulfat sebagai diluen. Gas hidrogen klorida yang dihasilkan dicuci dengan trikloroetilen baru dan selanjutnya dimurnikan oleh pembekuan dan absorpsi dalam air. 1500–1850 kg trikloroetilen dan 600 kg H_2SO_4 95% menghasilkan 1000 kg produk akhir dan 700–750 kg gas HCl sebagai produk samping.

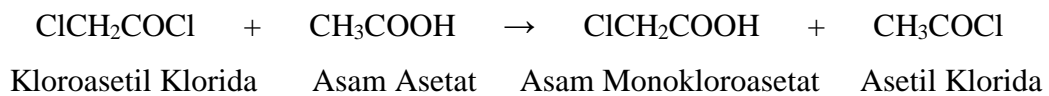
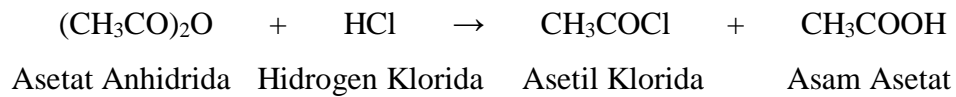
Metode trikloroetilen memproduksi asam kloroasetat yang sangat murni bebas dari asam dikloroasetat atau asam trikloroasetat. Prosedur purifikasi terdiri dari pemsahan trikloroetilen, asam sulfat, dan air. Walaupun kemurnian asam kloroasetat yang terbentuk tinggi, metode ini tidak digunakan lagi karena harga trikloroetilen yang mahal dan jumlah besar HCl yang diproduksi. Reaksi hidrolisis trikloroetilen menghasilkan asam monokloroasetat adalah sebagai berikut (Ullman, 2014).



1.3.2. Klorinasi Asam Asetat

Metode ini mengkonversi asam asetat menjadi asam kloroasetat dengan selektivitas yang tinggi. Ini dicapai dengan menggunakan katalis yang sesuai.

Ketika asetat anhidrida adalah katalisnya, mekanisme reaksinya adalah sebagai berikut.



Tingkat kemurnian yang tinggi dibutuhkan untuk beberapa produk hanya dapat diperoleh dengan memisahkan asam dikloroasetat dan asam trikloroasetat. Distilasi fraksional tidak sesuai karena titik didih dari ketiga asam asetat terklorinasi sangat dekat. Distilasi azeotropik dan distilasi ekstraktif telah disarankan untuk memisahkan asam dikloroasetat; namun, metode ini masih diragukan efektivitasnya.

Metode purifikasi asam monokloroasetat lainnya adalah hidroklorinasi katalitik dari produk samping asam dikloroasetat dan asam trikloroasetat yang tidak diperlukan. Asam dikloroasetat dan asam trikloroasetat dapat dideklorinasi oleh hidrogenasi katalitik pada suhu tinggi untuk membentuk asam kloroasetat atau asam asetat. Palladium pada pembawa, seperti karbon atau silika gel, biasanya digunakan. Total 660–780 kg asam asetat dan 780–1020 kg klorin dibutuhkan per 1000 kg asam murni, tergantung pada metode yang digunakan. Proses ini juga menghasilkan 400–420 kg HCl (Koenig, 2014).

1.4. Sifat-sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Bahan Baku

1. Asam Asetat (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: CH ₃ CO ₂ H
Berat molekul	: 60,0516 kg/kmol
Densitas	: 1042,02 kg/m ³

Wujud	: liquid
Titik didih	: 118,1°C
Titik leleh	: 16,7°C
Temperatur kritis	: 318,8°C
Tekanan kritis	: 5740 kPa
C _p (298 K)	: 123,3 J/mol K
ΔH _f (298 K)	: -484,37 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Asam asetat bersifat higroskopis (menyerap uap air) dan mudah terbakar.
- 2) Asam asetat dapat bereaksi dengan basa maupun asam.
- 3) Asam asetat berkonsentrasi tinggi dapat mengkorosi logam dan mendegradasi plastik dan karet.

2. Klorin (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: Cl ₂
Berat molekul	: 70,906 kg/kmol
Densitas	: 1393,84 kg/m ³
Wujud	: gas
Titik didih	: -34,6°C
Titik leleh	: -101,6°C
Temperatur kritis	: 144°C
Tekanan kritis	: 7790 kPa
C _p (298 K)	: 33,949 J/mol K

b. Sifat Kimia

- 1) Klorin bersifat sangat korosif dan beracun.
- 2) Klorin kering bereaksi dengan kebanyakan logam hanya saat dipanaskan.
- 3) Klorin bereaksi dengan logam alkali oleh pembakaran dengan adanya sejumlah kecil uap air.
- 4) Campuran tertentu klorin dan hidrogen dapat bersifat eksplosif.

1.4.2. Katalis

1. Asetat Anhidrida (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$
Berat molekul	: 102,0884 kg/kmol
Densitas	: 1075,08 kg/m ³
Wujud	: liquid
Titik didih	: 139,6°C
Titik leleh	: -73°C
Temperatur kritis	: 332,85°C
Tekanan kritis	: 3970 kPa
C _p (298 K)	: 191,5 J/mol K
ΔH_f (298 K)	: -625,00 ± 3,40 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Asetat anhidrida bereaksi hebat dengan air dan menghasilkan asam asetat dan panas.
- 2) Asetat anhidrida bersifat korosif.
- 3) Asetat anhidrida bereaksi eksotermik dengan asam asetat.

1.4.3. Senyawa Intermediet

1. Asetil Klorida (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: CH_3COCl
Berat molekul	: 78,4977 kg/kmol
Densitas	: 1101,98 kg/m ³
Wujud	: liquid
Titik didih	: 52°C
Titik leleh	: -112°C
Temperatur kritis	: 246°C
Tekanan kritis	: 5826,07 kPa
C _p (298 K)	: 117,2 J/mol K
ΔH_f (298 K)	: -275,2 ± 0,2 kJ/mol K

b. Sifat Kimia

- 1) Asetil klorida bersifat mudah terbakar dan korosif.
- 2) Asetil klorida bereaksi hebat dengan air membentuk asam klorida.
- 3) Asetil klorida yang terbakar dapat menghasilkan gas hidrogen klorida dan fosgen yang sangat beracun.

2. Kloroasetil Klorida (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: ClCH_2COCl
Berat molekul	: 112,9428 kg/kmol
Densitas	: 1433,65 kg/m ³
Wujud	: liquid
Titik didih	: 105°C
Titik leleh	: -22°C
Temperatur kritis	: 307,85°C
Tekanan kritis	: 5110 kPa
C _p (298 K)	: 142,92 J/mol.K
ΔH_f (298 K)	: -245,6 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Kloroasetil klorida bersifat beracun korosif.
- 2) Kloroasetil klorida yang terbakar dapat menghasilkan gas hidrogen klorida, klorin, fosgen, dan dioksin yang sangat beracun.
- 3) Kloroasetil klorida bereaksi hebat dengan air membentuk asam klorida.

3. Dikloroasetil Klorida (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: Cl_2CHCOCl
Berat molekul	: 147,3879 kg/kmol
Densitas	: 1519,13 kg/m ³
Wujud	: liquid
Titik didih	: 108°C
Titik leleh	: 25°C

Temperatur kritis	: 305,85°C
Tekanan kritis	: 4610 kPa
C _p (298 K)	: 154,23 J/mol.K
ΔH _f (298 K)	: -280,83 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Dikloroasetil klorida terurai dalam air menjadi asam dikloroasetat dan asam klorida yang bersifat korosif dan melepaskan panas.

1.4.4. Produk

1. Asam Monokloroasetat (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: C ₂ H ₃ ClO ₂
Berat molekul	: 94,4967 kg/kmol
Densitas	: 1422,70 kg/m ³
Wujud	: solid
Titik didih	: 189,5°C
Titik leleh	: 61,2°C
Temperatur kritis	: 412,85°C
Tekanan kritis	: 5780 kPa
C _p (298 K)	: 144,02 J/mol K
ΔH _f (298 K)	: -490,1 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Asam monokloroasetat bersifat beracun dan korosif.
- 2) Asam monokloroasetat yang terbakar menghasilkan asam klorida dan fosgen yang sangat beracun.

2. Asam Dikloroasetat (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: Cl ₂ CHCOOH
Berat molekul	: 128,9418 kg/kmol
Densitas	: 1553,46 kg/m ³
Wujud	: liquid
Titik didih	: 194,4°C

Titik leleh	: -4°C
Temperatur kritis	: 386,46°C
Tekanan kritis	: 5730,52 kPa
C _p (298 K)	: 207 J/mol K
ΔH _f (298 K)	: -496,3 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Asam dikloroasetat bersifat beracun dan korosif.
- 2) Asam dikloroasetat yang terbakar menghasilkan asam klorida dan fosgen yang sangat beracun.
- 3) Asam dikloroasetat bereaksi eksotermik dengan air.

3. Asam Klorida (Perry, 1997)

a. Sifat Fisika

Rumus molekul	: HCl
Berat molekul	: 36,4609 kg/kmol
Densitas	: 1161-1190 kg/m ³
Wujud	: liquid
Titik didih	: -85°C
Titik leleh	: -111°C
Temperatur kritis	: 51,5°C
Tekanan kritis	: 8360 kPa
C _p (298 K)	: 29,14 J/mol K
ΔH _f (298 K)	: -166,844 kJ/mol

b. Sifat Kimia

- 1) Asam klorida larut dalam air dan terionisasi menjadi ion hidrogen (H⁺) dan ion klorida (Cl⁻).
- 2) Asam klorida sangat reaktif terhadap logam dan reaktif terhadap agen pengoksidasi, senyawa organik, basa, dan air.
- 3) Asam klorida bersifat sangat korosif.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba.com. 2020. *Catalysts and Chemical Auxillary Agents*. (Online). www.alibaba.com. (Diakses pada 30 Maret 2020).
- Badan Pusat Statistik. 2020. *Tabel Ekspor-Impor Dinamis*. (Online) <https://www.bps.go.id/>. (Diakses pada 22 Januari 2020).
- Bank Indonesia. 2020. *BI 7-day (Reverse) Repo Rate*. (Online). [ww.bi.go.id](http://www.bi.go.id). (Diakses pada 1 Juni 2020).
- Bluman, A. G. 2009. *Elementary Statistics: a Step by Step Approach, Seventh Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Boundy, B., Diegel, S. W., Wright, L., dan Davis, S. C. 2011. *Biomass Energy Data Book Edition 4*. Tennessee: U.S. Department of Energy.
- Branan, C. R. 2005. *Rules of Thumb for Chemical Engineers 4th Edition*. United State: Elsevier Inc.
- Dogra, S. K. dan Dogra, S. 1984. *Physical Chemistry through Problems*. New Delhi: New Age International.
- European Chemicals Agency. 2019. *Acetic Anhydride* (Online). <https://echa.europa.eu/registration-dossier/-/registered-dossier/15314/7/2/1>. (Diakses pada 20 Maret 2020).
- Felder, R. M. dan Rousseau, R. W. 2005. *Elementary Principles of Chemical Processes 3rd Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Fogler, H. S. 2006. *Elements of Chemical Reaction Engineering Fourth Edition*. New Jersey: Pearson Education.
- Hicks, T. G. dan Chohey, N. P. 2012. *Handbook of Chemical Engineering Calculatons Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Hill, C. G. 1977. *An Introduction to Chemical Engineering Kinetics and Reactor Design*. Canada: John Wiley & Sons.
- Hilmi, H. A. 2020. *Tenaga Kerja Lokal Kalah Saing, Pengangguran Terbuka di Purwakarta di Atas Rata-rata Jawa Barat*. (Online). <https://www.pikiran-rakyat.com/jawa-barat/pr-01337538/tenaga-kerja-lokal-kalah-saing-pengangguran-terbuka-di-purwakarta-di-atas-rata-rata-jawa-barat>. (Diakses pada 20 Juni 2020).

- Holland, F. S., dan Chapman, F. A.. 1966. *Liquid Mixing and Processing n Stirred Tanks*. New York: Lever Brothers Company.
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*. Inderalaya: Universitas Sriwijaya.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York: McGraw Hill.
- Koenig, G., Lohmar, E., Rupprich, N., Lison, M., dan Gnass, A. 2014. *Ullman's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Chloroacetic Acids*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering Third Edition*. New York: John Wiley & Sons.
- Matches Engineering. 2017. *Equipment Cost*. (Online). www.matche.com. (Diakses pada 25 Juni 2020).
- McCabe, W. L., Smith, J. C., dan Harriott, P. 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering 5th Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Parker Twin Filter. 2018. *Vertical Leaf Filters*. (Online). <https://www.holimex.hu/documents/101/Parker%20Twin%20Filter%20pressure%20leaf%20filter%20brochure.pdf>. (Diakses pada tanggal 21 Juni 2020).
- Perry, R. H, Green, D. W., dan Maloney, J. O. 1997. *Perry's Chemical Engineer's Handbook Seventh Edition*. United States of America: McGraw Hill.
- Peters, M. S. dan Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers 4th Edition*. New York: Mc Graw Hill.
- PT Asahimas Chemical. 2019. *Specification Chlorine (Cl₂)*. (Online). <https://www.asc.co.id/index.php/en/product-main/product-sub/chlorine-cl2/specification-chlorine-cl2>. (Diakses pada 12 Mei 2019).
- PT Indo Acidatama Tbk. *Produk Chemical Acetic Acid (CH₃COOH)*. 2015. (Online). <https://www.acidatama.co.id/produk-chemical-detail.php?id=3>. (Diakses pada 12 Mei 2019).
- Rightpricechemicals.com. 2019. *Buy Acetic Anhydride*. (Online). <https://www.rightpricechemicals.com/buy-acetic-anhydride-reagent-ac.html>. (Diakses pada 12 Mei 2019).

- Reus, M. A., Guguta, C., Kramer, H. J. M., dan ter Horst, J. H. 2020. *Solubility: Importance, Measurements and Applications*. Alkmaar: Technobis Crystallization System.
- Seidell, A. 1941. *Solubilities of Organic Compounds: A Compilation of Quantitative Solubility Data from Periodical Literature Third Edition Volume 11*. New York: D. Van Nostrand Company.
- Sinnott, R. K. 2005. *Coulson and Richardson's Chemical Engineering Design 4th Edition, Volume 6*. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Smith, J. M. 1970. *Chemical Engineering Kinetics 2nd Edition*. Texas: McGraw Hill.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., dan Abbott, M. M. 2001. *Introduction Chemical Engineering Thermodynamics 6th Edition*. Boston: McGraw Hill.
- Tressaud, A. 2010. *Functionalized Inorganic Fluorides*. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operation 3rd Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Vatavuk, W. M. 2020. *Chemical Engineering Plant Cost Index*. (Online). www.chemengonline.com. (Diakses pada 21 Juni 2020).
- Vilbrandt, F. C. dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- Walas, S. M. 1990. *Chemical Process Equipment: Selection and Design*. USA: Butterworth-Heinemann.
- Welty, J. R., Wicks, C. E., Wilson, R. E., dan Rorrer G. L. 2000. *Fundamentals of Momentum, Heat, and Mass Transfer 5th Edition*. Oregon: John Wiley and Sons.
- Yapici, E. O. 2020. *Thermodynamic Tables in SI Units*. (Online). http://me211.cankaya.edu.tr/uploads/files/Thermodynamic_tables_SI_units.pdf. (Diakses pada 15 April 2020).
- Yaws. C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. Texas: McGraw-Hill.