

**PRA RANCANGAN
PABRIK PEMBUATAN ASAM ASETAT
KAPASITAS 26.000 TON/TAHUN**



SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat mendapatkan
gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

OLEH

MUHAMMAD SAINUL NUHA 03031282025061

**JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2024

HALAMAN PENGESAHAN

**PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM ASETAT
KAPASITAS 26.000 TON/TAHUN**

SKRIPSI

**Dibuat untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh
gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik
Universitas Sriwijaya**

Oleh:

Muhammad Sainul Nuha 03031282025061

Indralaya, November 2024

Pembimbing

Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM.

NIP. 198106022008011010

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi dengan judul "Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Asetat Kapasitas 26.000 Ton/Tahun" telah dipertahankan oleh Muhammad Sainul Nuha di hadapan Tim Penguji Sidang Akhir Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 18 November 2024. Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng., IPU.

NIP. 195603071981031010

()

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

NIP. 197706052003121004

()

3. Dr. Selpiana, S.T., M.T.

NIP. 197809192003122001

( 24/11/2024)

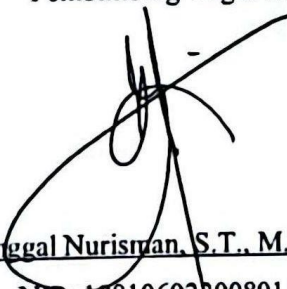
Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Kimia


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

Indralaya, November 2024

Pembimbing Tugas Akhir


Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM.
NIP. 198106022008011010

HALAMAN PERBAIKAN

Dengan ini menyatakan bahwa:

MUHAMMAD SAINUL NUHA 03031282025061

Judul:

**“PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM ASETAT
KAPASITAS 26.000 TON/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. Prof. Dr. Ir. H. M. Djoni Bustan, M.Eng., IPU.

NIP. 195603071981031010

()

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

NIP. 197706052003121004

()

3. Dr. Selpiana, S.T., M.T.

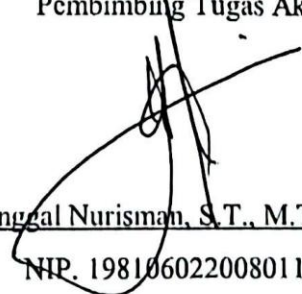
NIP. 198606292008122002

()
20/11/2024

Indralaya, November 2024

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir


Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM.

NIP. 198106022008011010

HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Sainul Nuha
NIM : 03031282025061
Judul Tugas Akhir : Pra Rancangan Pabrik Pembuatan Asam Asetat Kapasitas
26.000 Ton/Tahun
Fakultas/ Jurusan : Teknik/ Teknik Kimia

Menyatakan bahwa Skripsi ini merupakan hasil karya saya yang didampingi oleh dosen Pembimbing Tugas Akhir dan bukan hasil jiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam skripsi ini, maka saya akan bersedia untuk menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai sistem yang berlaku.

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

Indralaya, November 2024



Muhammad Sainul Nuha

NIM 03031282025061



RINGKASAN

PRA RANCANGAN PABRIK PEMBUATAN ASAM ASETAT KAPASITAS 26.000 TON/TAHUN

Karya tulis ilmiah berupa Skripsi, November 2024

Muhammad Sainul Nuha;

Dibimbing oleh Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM.

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya.

ABSTRAK

Pabrik pembuatan asam asetat dengan kapasitas produksi 26.000 ton/tahun ini direncanakan akan berdiri pada tahun 2030 berlokasi di Jalan Raya, Pupuk Raya, Bontang Utara, Bontang, Kalimantan Timur dengan luas area 5,2 ha. Proses pembuatan asam asetat ini mengacu pada Patent EP No. 2653460 B2, 2022, dimana metode proses yang digunakan merupakan proses karbonilasi metanol dibantu dengan katalis Iridium-Lantanum pada Karbon (Ir-La/C) membentuk asam asetat. Reaksi berlangsung dalam *Bubble Packed Bed Reactor* dengan temperatur 150°C dan tekanan 19 atm. Pabrik pembuatan asam asetat berbentuk Perseroan Terbatas (PT) yang dipimpin oleh direktur. Sistem organisasi perusahaan ini adalah line and staff dengan karyawan sebanyak 121 orang. Pabrik asam asetat layak didirikan karena telah memenuhi parameter kelayakan ekonomi:

- | | |
|--|------------------------|
| a) <i>Total Capital Investment (TCI)</i> | = US\$ 28.927.745,4796 |
| b) <i>Selling Price per Year</i> | = US\$ 35.100.000,0000 |
| c) <i>Total Production Cost (TPC)</i> | = US\$ 24.080.048,9358 |
| d) <i>Annual Cash Flow</i> | = US\$ 7.367.049,8939 |
| e) <i>Pay Out Time</i> | = 3,9501 tahun |
| f) <i>Rate of Return on Investment (ROR)</i> | = 23,5235% |
| g) <i>Discounted Cash Flow - ROR</i> | = 31,7980% |
| h) <i>Break Event Point (BEP)</i> | = 31,7219% |
| i) <i>Service Life</i> | = 11 tahun |

Kata Kunci: *Asam Asetat, Bubble Packed Bed Reactor, Karbonilasi Metanol*

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Kimia



Indralaya, November 2024

Pembimbing, -

Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM.

NIP. 198106022008011010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat limpahan rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir dengan judul "Pra Rencana Pabrik Pembuatan Asam Asetat Kapasitas Produksi 26.000 Ton/Tahun". Tugas akhir ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan kurikulum akademik yang ada di Jurusan Teknik Kimia Universitas Sriwijaya. Penyusunan tugas akhir penulis ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Penulis telah banyak menerima bimbingan, petunjuk, bantuan, dan dorongan yang bersifat moral maupun materi. Penulis mengucapkan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Kedua orang tua serta orang-orang terdekat 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. selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
 - 3) Ibu Dr. Fitri Hadiyah, S.T., M.T. selaku Sektetaris Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
 - 4) Pak Enggal Nurisman, S.T., M.T., IPM. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang selalu memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
 - 5) Seluruh dosen dan staf akademik Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya.
 - 6) Semua pihak, termasuk teman-teman, yang telah membantu, mulai dari tahap awal tugas akhir hingga penyusunan laporan.
- Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Indralaya, November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERBAIKAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Sejarah dan Perkembangan Produksi Asam Asetat	2
1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik Asam Asetat	3
1.4. Sifat-sifat Fisika dan Kimia	3
1.5. Proses Pembuatan Asam Asetat	8
BAB II. PERENCANAAN PABRIK	14
2.1. Alasan Pendirian Pabrik	14
2.2. Pemilihan Kapasitas Produksi	14
2.3. Pemilihan Proses	21
2.4. Pemilihan Bahan Baku	22
2.5. Uraian Proses	22
BAB III. LOKASI DAN TATA LETAK PABRIK	25
3.1. Lokasi Pabrik	25
3.2. Tata Letak Pabrik	30
3.3. Kebutuhan Luas Area Pabrik	31
3.4. Pertimbangan Tata Letak Peralatan	32
BAB IV. NERACA MASSA DAN NERACA PANAS	34
4.1. Neraca Massa	34
4.2. Neraca Panas	38

BAB V. UTILITAS	45
5.1. Unit Penyediaan Air	45
5.2. Unit Penyediaan <i>Steam</i>	49
5.3. Unit Penyediaan Tenaga Listrik	51
5.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar	56
BAB VI. SPESIFIKASI PERALATAN	58
6.1. <i>Accumulator</i> – 01 (ACC – 01)	58
6.2. <i>Accumulator</i> – 02 (ACC – 02)	59
6.3. <i>Condenser</i> – 01 (CD – 01)	60
6.4. <i>Condenser</i> – 02 (CD – 02)	61
6.5. <i>Cooler</i> – 01 (C – 01)	62
6.6. <i>Cooler</i> – 02 (C – 02)	63
6.7. <i>Cooler</i> – 03 (C – 03)	64
6.8. <i>Cooler</i> – 04 (C – 04)	65
6.9. <i>Cooler</i> – 05 (a) (C – 05 (a))	66
6.10. <i>Cooler</i> – 05 (b) (C – 05 (b))	67
6.11. <i>Expander</i> – 01 (EXP – 01)	68
6.12. <i>Expander</i> – 02 (EXP – 02)	69
6.13. <i>Heater</i> – 01 (H – 01)	70
6.14. <i>Heater</i> – 02 (H – 02)	71
6.15. <i>Heater</i> – 03 (H – 03)	72
6.16. <i>Heater</i> – 04 (H – 04)	73
6.17. Kolom Distilasi – 01 (KD – 01)	74
6.18. Kolom Distilasi – 02 (KD – 02)	75
6.19. Kompresor – 01 (K – 01)	76
6.20. Pompa – 01 (P – 01)	77
6.21. Pompa – 02 (P – 02)	78
6.22. Pompa – 03 (P – 03)	79
6.23. Pompa – 04 (P – 04)	80
6.24. Pompa – 05 (P – 05)	81
6.25. Pompa – 06 (P – 06)	82
6.26. Pompa – 07 (P – 07)	83
6.27. Pompa – 08 (P – 08)	84
6.28. Pompa – 09 (P – 09)	85

6.29. Pompa – 10 (P – 10).....	86
6.30. <i>Pressure Swing Adsorber</i> – 01 (PSA – 01).....	87
6.31. Reaktor – 01 (R – 01).....	88
6.32. <i>Reboiler</i> – 01 (RB – 01).....	89
6.33. <i>Reboiler</i> – 02 (RB – 02).....	90
6.34. Tangki – 01 (T – 01).....	91
6.35. Tangki – 02 (T – 02).....	92
6.36. Tangki – 03 (T – 03).....	93
BAB VII. ORGANISASI PERUSAHAAN.....	94
7.1. Bentuk Perusahaan.....	94
7.2. Struktur Organisasi Perusahaan.....	96
7.3. Tugas dan Wewenang.....	96
7.4. Sistem Kerja.....	102
7.5. Penentuan Jumlah Karyawan.....	103
BAB VIII. ANALISIS EKONOMI.....	108
8.1. Profitabilitas (Keuntungan).....	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
BAB IX. KESIMPULAN.....	118
DAFTAR PUSTAKA.....	119

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Produksi Asam Asetat	13
Tabel 2.1. Data Impor Asam Asetat di Indonesia	15
Tabel 2.2. Pertumbuhan Rata-rata Impor Asam Asetat di Indonesia	16
Tabel 2.3. Proyeksi Pertumbuhan Rata-rata Impor Asam Asetat di Indonesia...	17
Tabel 2.4. Data Ekspor Asam Asetat di Indonesia.....	18
Tabel 2.5. Pertumbuhan Rata-rata Ekspor Asam Asetat	19
Tabel 2.6. Proyeksi Data Ekspor Asam Asetat	19
Tabel 2.7. Distribusi Impor dan Ekspor Asam Asetat PT Indo Acidatama	20
Tabel 3.1. Luas Area Kompleks Pabrik.....	32
Tabel 5.1. Kebutuhan Utilitas	45
Tabel 5.2. Kebutuhan Air Pendingin	45
Tabel 5.3. Total Kebutuhan Air dalam Pabrik	49
Tabel 5.4. Kebutuhan <i>Steam</i> Pemanas.....	50
Tabel 5.5. Total Kebutuhan <i>Steam</i>	51
Tabel 5.6. Kebutuhan Listrik Peralatan	51
Tabel 5.7. Kebutuhan Energi Pekerja Kantor.....	53
Tabel 5.8. Kebutuhan Energi Pekerja Tidak di Kantor	54
Tabel 5.9. Total Kebutuhan Listrik	56
Tabel 5.10. Total Kebutuhan Bahan Bakar.....	57
Tabel 5.8. Total Kebutuhan Listrik	50
Tabel 7.1. Pembagian Waktu Kerja Pekerja <i>Shift</i>	103
Tabel 7.2. Perincian Jumlah Karyawan	105
Tabel 8.1. Total Penjualan Produk	109
Tabel 8.2. Rincian Angsuran Pengembalian Modal.....	111
Tabel 8.3. Nilai <i>Slope</i> dan <i>Intercept Break Even Point</i> (BEP)	116
Tabel 8.4. Kesimpulan Analisa Ekonomi	117

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Proyeksi Impor Asam Asetat di Indonesia sampai Tahun 2030.....	17
Gambar 2.2. Proyeksi Ekspor Asam Asetat sampai Tahun 2030.....	20
Gambar 3.1. Peta Lokasi Pabrik, Bontang, Kalimantan Timur.....	25
Gambar 3.2. Jarak Lokasi Pabrik dengan Bahan Baku Metanol (14,2 km)	26
Gambar 3.3. Jarak Lokasi Pabrik dengan Bahan Baku Karbon Monoksida (11,1 km).....	26
Gambar 3.4. Jarak Lokasi Pabrik dengan Utilitas Air (0,13 km)	27
Gambar 3.5. Jarak Lokasi Pabrik dengan Utilitas Bahan Bakar (4,84 km).....	27
Gambar 3.6. Pemasaran Jalur Udara – Bandara APT (96,7 km)	28
Gambar 3.7. Pemasaran Jalur Laut – Pelabuhan Loktuan (3,69 km)	28
Gambar 3.8. Pemasaran Jalur Darat – <i>Pandu Logistics</i> Bontang (4,6 km).....	29
Gambar 3.9. Jarak Lokasi Pabrik ke Produsen Monomer Vinil Asetat (1.384,02 km).....	29
Gambar 3.10. Jarak Lokasi Pabrik ke Produsen Asam Tereftalat Murni (1.336,69 km).....	29
Gambar 3.11. Jarak Lokasi Pabrik ke Produsen Etil Asetat (1.383,22 km).....	30
Gambar 3.12. Tata Letak Pabrik.....	32
Gambar 3.13. Tata Letak Peralatan.....	33
Gambar 7.1. Struktur Organisasi Perusahaan	107
Gambar 8.1. Grafik <i>Break Even Point</i>	116

DAFTAR NOTASI

1. **ACCUMULATOR**

C	: Allowable corrosion, m
E	: Efisiensi pengelasan, <i>dimensionless</i>
ID	: <i>Inside Diameter</i> , m
L	: Panjang accumulator, m
OD	: <i>Outside Diameter</i> , m
P	: Tekanan operasi, bar
S	: <i>Working stress</i> yang diizinkan, atm
t	: Tebal dinding <i>accumulator</i> , m
T	: Temperatur operasi, K
V	: Volume total, m ³
V _s	: Volume silinder, m ³
ρ	: Densitas, kg/m ³

2. **EXPANDER**

k	: Konstanta Kompresi
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
η	: Efisiensi ekspander
ρ	: Densitas, kg/m ³

3. **HEAT EXCHANGER (CONDENSER, COOLER, HEATER, REBOILER)**

a"	: Luas satu buah <i>tube</i> , ft ²
a _a	: <i>Area flow annulus</i> , ft ²
a _p	: <i>Area flow inner pipe</i> , ft ²
a' _t	: <i>Flow area tube</i> , ft ²
A	: Luas area perpindahan panas, ft ²
B	: Jarak <i>baffle</i> , in

C_p	: Panas spesifik, Btu/lb. °F
D_e	: Diameter ekivalen, ft
D_p	: Diameter <i>inner pipe</i> , ft
F	: Faktor friksi
F_I	: kecepatan <i>head/hairpin</i> . ft
G_a	: Laju alir massa <i>annulus</i> , lb/jam ft ²
G_p	: Laju alir massa <i>inner pipe</i> , lb/jam ft ²
G_s	: Laju alir massa <i>shell</i> , lb/jam ft ²
G_t	: Laju alir massa <i>tube</i> , lb/jam ft ²
h_i	: Koefisien perpindahan panas bagian dalam, Btu/hr ft ² °F
h_o	: Koefisien perpindahan panas bagian luar, Btu/hr ft ² °F
ID	: <i>Inside Diameter</i> , ft
ju	: Faktor perpindahan panas
k	: Konduktivitas termal, Btu/hr ft °F
L	: Panjang <i>tube</i> , ft
N_{Re}	: Bilangan Reynold, tak berdimensi
N_t	: Jumlah <i>tube</i> , buah
OD	: <i>Outside Diameter</i> , ft
Pr	: Bilangan Prandtl, tak berdimensi
Q	: Beban panas, Btu/hr
R_d	: <i>Dirt factor</i> , Btu/jam ft ² °F
S	: Rasio densitas
t_1	: Temperatur masuk <i>tube</i> , °F
t_2	: Temperatur keluar <i>tube</i> , °F
T_1	: Temperatur masuk <i>shell</i> , °F
T_2	: Temperatur keluar <i>shell</i> , °F
t_c	: Temperatur rata-rata fluida dingin, °F
T_c	: Temperatur rata-rata fluida panas, °F
U_c	: Clean overall coefficient, Btu/jam ft ² °F
U_d	: Koefisien overall perpindahan panas, Btu/ jam ft ² °F
V	: Kecepatan, ft/s
w	: Laju alir massa di <i>tube</i> , lb/jam

W : Laju alir massa di *shell*, lb/jam
 ΔP : *Pressure drop*, psi
 ΔT_{lm} : *Log Mean Temperature Difference*, °F
 μ : Viskositas, Cp
 ρ : Densitas, lb/ft³

4. KOLOM DISTILASI

A_a : *Active area*, m²
 A_{ap} : *Area under apron*, m²
 A_c : *Cross section/luas area kolom*, m²
 A_{cz} : *Area of calming zone*, m²
 A_d : *Downcomer area*, m²
 A_h : *Hole area*, m²
 A_n : *Net area*, m²
 A_{oh} : *Area untuk 1 hole*, m
 A_p : *Total area perforated*, Ap
 A_{up} : *Area of underforated edge strip*, m²
 C_c : *Korosi yang dizinkan*, m
 C_o : *Orifice coefficient*
 D_c : *Diameter kolom*, m
 d_h : *Hole diameter*, mm
 E_j : *Efisiensi pengelasan*
 EmV : *Efisiensi tray*, %
 F_A : *Fractional area*
 FLV : *Liquid-vapor flow factor*
 h_{ap} : *Downcomer pressure loss*, mm
 h_b : *Backup di downcomer*, m
 h_d : *Dry plate drop*, mm liquid
 H_{dc} : *Head loss in the downcomer*, mm
 H_e : *Tinggi tutup ellipsoidal*, m
 h_{ow} : *Weir liquid crest*, mm liquid
 h_r : *Residual liquid*, mm liquid
 h_t : *Total pressure drop*, mm liquid

H_t	: Tinggi Tangki
h_w	: <i>Weir henght</i> , m ²
ID	: <i>Inside diameter</i>
L_{cz}	: <i>Mean length of calming zone</i> , m
L_m	: <i>Mean length, underforated edge strips</i> , m
L_m	: <i>Liquid rate</i> , kg/det
l_w	: <i>Weir length</i> , m ²
L/D	: Refluks
m	: <i>Rectifying section</i>
N	: <i>Stage/tray</i>
N _m	: <i>Stage minimum</i>
OD	: <i>Outside diameter</i>
p	: <i>Stripping section</i>
r	: Jari-jari tangka, m
S	: Tekanan kerja yang diizinkan, Bar
t	: Tebal dinding, cm
t_r	: <i>Check residence time</i> , s
U_f	: Kecepatan <i>flooding</i> , m/s
U_h	: <i>Minimum design vapor velocity</i> , m/s
U_v	: <i>Volumetric flowrate</i> , m/s
α	: Relatifitas volatilitas
ΔP	: <i>Pressure drop</i> , psi
μ	: Viskositas, N.s/m ²
ρ	: Densitas, kg/m ³
ψ	: <i>Fractional entrainment</i>

5. KOMPRESOR

BHP	: <i>Brake Horse Power</i> , HP
K	: Konstanta Kompresi
n	: Jumlah <i>stage</i>
P_{IN}	: Tekanan masuk, bar
P_{OUT}	: Tekanan keluar, bar
P_w	: Power kompresor, HP

Q	: Kapasitas kompresor, lb/menit
Rc	: Rasio kompresi
T ₁	: Temperatur masuk kompresor, °C
T ₂	: Temperatur keluar kompresor, °C
W	: Laju alir massa, lb/jam
η	: Efisiensi kompresor
ρ	: Densitas, kg/m ³

6. POMPA

A	: Luas penampang, ft ²
BHP	: <i>Brake Horse Power</i> , HP
D _{opt}	: Diameter dalam optimum pipa, in
f	: <i>Fanning factor</i>
g	: Percepatan gravitasi, ft/s ²
gc	: Konstanta percepatan gravitasi, ft/s ²
H _d	: <i>Head discharge</i> , ft
H _f	: Total friksi, ft
H _{fc}	: <i>Sudden contraction friction loss</i> , ft. lbf/ lb
H _{fe}	: Friksi karena ekspansi tiba-tiba, ft. lbf/ lb
H _{ff}	: Friksi karena <i>fitting</i> dan <i>valve</i> , ft. lbf/ lb
H _{fs}	: <i>Skin friction loss</i> , ft. lbf/ lb
H _s	: <i>Head suction</i> , ft
ID	: <i>Inside diameter</i> , in
K _c	: <i>Contaction</i>
K _e	: <i>ekspansion contraction</i>
L	: Panjang pipa, ft
L _s	: Panjang ekuivalen pipa, ft
m _f	: <i>Flowrate</i> dengan faktor keamanan, lb/min
m _s	: <i>Flowrate</i> , lb/jam
MHP	: <i>Motor Horse Power</i> , HP
N _g	: <i>Reynold Number</i> , dimensionless
NPSH	: <i>Net Positive Suction Head</i> , ft.lbf/ lb
OD	: <i>Outside diameter</i> , in

P_{uap}	: Tekanan uap, psi
Q_f	: Kapasitas pompa, ft ³ /s
Q_f	: Laju alir volumetrik, ft ³ /s
T	: Temperatur, K
V_d	: <i>Discharge velocity</i> , ft/s
V_s	: <i>Suction velocity</i> , ft/s
ΔP	: <i>Differential pressure</i> , psi
ε	: <i>Equivalent roughness</i> , ft
η	: Efisiensi pompa
μ	: Viskositas, lb/ft.hr
ρ	: Densitas fluida, lb/ft ³

7. **PRESSURE SWING ADSORBER**

D	: Diameter kolom PSA, m
H_k	: Ketinggian kolom PSA, m
t	: Tebal dinding silinder, m
t_h	: Tebal dinding <i>head</i> , m
T	: Temperatur, °C
V_k	: Volume kolom, m ³
V_p	: Volume <i>packing</i> , m ³
W	: Laju alir massa, kg/jam
W_b	: Berat adsorben per kolom, kg
W_p	: Berat adsorben total, kg
ρ	: Densitas kg/m ³

8. **REAKTOR**

A_c	: Luas permukaan terluar <i>solid</i> per satuan volume <i>liquid</i> , m ⁻¹
A_g	: Luas permukaan terluar partikel gas per satuan volume <i>liquid</i> , m ⁻¹
A_o	: Luas tiap lubang <i>orifice</i> , cm ²
A_{pp}	: Luas <i>perforated plate</i> , m ²
C	: <i>Corrosion</i> maksimum, in
C_A	: Konsentrasi akhir umpan, kmol/m ³
C_{ao}	: Konsentrasi reaktan mula-mula, kmol/m ³

D	: Diameter reaktor, m
D_{AB}	: Difusivitas molekul reaktan pada fase <i>liquid</i> , m^2/s
D_b	: Diameter <i>bubble</i> , m
D_{pp}	: Diameter <i>perforated plate</i> , cm
E	: Energi aktivasi
F_{ao}	: Jumlah <i>feed</i> mula-mula, Kmol
F_{AO}	: Laju alir umpan, kmol/jam
gc	: percepatan gravitasi, 1000 cm/s^2
h	: Tinggi <i>ellipsoidal head</i> , m
H_e	: Tinggi <i>ellipsoidal</i> , m
H_R	: Tinggi total reaktor, m
H_S	: Tinggi silinder, m
k	: Konstanta kecepatan reaksi, $m^3/kmol.s$
K_c	: Koefisien perpindahan massa <i>liquid</i> ke partikel <i>solid</i> , cm/s
K_L	: Koefisien perpindahan massa antara <i>gas-liquid</i> , cm/s
K_o	: Konstanta kecepatan reaksi, m/s
L	: Lebar <i>blade</i> pengaduk
M_A	: Berat molekul A
M_B	: Berat molekul B
N_{or}	: Jumlah lubang <i>orifice</i>
N_{Re}	: Bilangan <i>Reynold</i>
OD	: <i>Outside diameter</i> , m
P	: <i>Power</i> , HP
P	: Tekanan desain, psi
Q	: Volumetrik <i>flowrate</i> , m^3/jam
R	: Konstanta umum gas = $1,987, 10^{-3}\text{ kkal/mol, K}$
$-rA'$: Laju reaksi
R_d	: <i>Fouling factor</i> , $W/m^2 \cdot ^\circ C$
r_i	: Jari-jari <i>vessel</i> , in
r_v	: Laju reaksi, $kmol/m^2 \cdot s$
S	: <i>Working stress allowable</i> , psi
t	: Tebal dinding tanki, m

T	: Temperatur operasi, K
T	: Tebal dinding reaktor, cm
U _c	: <i>Overall heat transfer coefficient</i> , W/m ² . °C
V	: Volume reaktor, m ³
V _A	: Volume difusi atomik komponen senyawa 1
V _B	: Volume difusi atomik komponen senyawa 2
V _E	: Volume <i>ellipsoidal</i> , m ³
V _h	: Volume <i>head</i> , m ³
V _k	: Volume katalis
V _o	: Kecepatan gelembung gas lepas <i>orifice</i> , m/s
V _s	: Volume silinder, m ³
V _t	: Volume total, m ³
V _{TR}	: Volume total reaktor, m ³
W	: Berat katalis, kg
W	: Laju alir massa, kg/jam
W	: Tinggi <i>blade</i> pengaduk, m
X	: Konversi
ε	: <i>Gas hold-up</i>
μ _G	: Viskositas gas, kg/ms
μ _L	: Viskositas <i>liquid</i> , kg/ms
ρ	: Densitas fluida, kg/m ³
ρ _k	: Densitas katalis, kg/m ³
σ	: <i>Surface tension</i> , dyne/cm
σ _A	: Diameter molekul, cm
τ	: Waktu tinggal, jam

9. TANGKI

C	: Tebal korosi yang diizinkan
D	: Diameter tangki, m
E	: Efisiensi penyambungan, <i>dimensionless</i>
H _e	: Tinggi <i>head</i> , m
H _s	: Tinggi silinder, m
H _t	: Tinggi total tangki, m

P	: Tekanan Desain, atm
S	: <i>Working stress</i> yang diizinkan, Psia
T	: Temperatur Operasi, K
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

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I. PERHITUNGAN NERACA MASSA	124
LAMPIRAN II. PERHITUNGAN NERACA PANAS	151
LAMPIRAN III. SPESIFIKASI PERALATAN	203
LAMPIRAN IV. PERHITUNGAN EKONOMI.....	366
LAMPIRAN V. TUGAS KHUSUS	378

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Saat ini, perkembangan sektor industri kimia dalam negeri semakin cepat. Hal tersebut dapat dilihat dari semakin banyaknya industri kimia yang didirikan di Indonesia. Adanya aktivitas pembangunan industri kimia ini memicu kurangnya dampak ketergantungan Indonesia terhadap bahan kimia yang dipasok dari luar negeri, sehingga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan terhadap impor bahan kimia. Pembangunan dan pengembangan industri kimia ini pun didukung secara penuh oleh Kementerian Perindustrian (Kemenperin) dalam upaya untuk menekan defisit perdagangan di sektor industri kimia. Harapannya, pembangunan dan perluasan manufaktur senyawa kimia bisa mengurangi tingkat impor senyawa kimia. Selain itu, diharapkan juga hal tersebut dapat meningkatkan nilai ekspor produk-produk kimia lokal untuk memperkuat perekonomian Indonesia.

Salah satu industri yang memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap kebutuhan dalam negeri yaitu industri asam asetat. Perkembangan serta perluasan industri asam asetat di Indonesia memiliki prospek yang baik dan memiliki pangsa pasar yang cukup luas. Senyawa asam asetat merupakan jenis senyawa asam karboksilat sintetis yang memiliki sifat mudah terbakar dan korosif. Secara tampilan fisik, asam asetat merupakan cairan bening tanpa warna dengan bau khas cuka cukup tinggi. Umumnya, asam asetat diaplikasikan sebagai aditif dalam makanan, katalis, pelarut, dan dijadikan sebagai bahan baku pembuatan bahan kimia lainnya. Mengacu pada informasi Badan Pusat Statistik (BPS), tingkat kebutuhan impor senyawa asam asetat di Indonesia selama tahun 2023 mencapai angka yang cukup tinggi mencapai 65.084 ton.

Sehubungan demikian, pembangunan dan perkembangan industri kimia asam asetat di Indonesia menjadi salah satu harapan dan solusi untuk bisa mengurangi nilai impor sehingga dapat memenuhi kebutuhan asam asetat dalam negeri. Pendirian manufaktur asam asetat ini diharapkan juga bisa memberikan manfaat lain, misalnya menyediakan kesempatan pada industri kimia yang memanfaatkan asam asetat sebagai bahan baku, meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat, serta memperkuat posisi Indonesia sebagai eksportir senyawa

asam asetat. Hal ini juga berdampak pada peningkatan devisa negara serta menyediakan lapangan pekerjaan baru di dalam negeri.

1.2. Histori dan Pengembangan Manufaktur Senyawa Asam Asetat

Asam asetat telah diketahui oleh manusia sejak zaman kuno sebagai senyawa yang memiliki berbagai manfaat. Awalnya, senyawa ini diperoleh dari aktivitas bakteri penghasil asam asetat, sering kali sebagai produk sampingan dalam proses fermentasi minuman seperti anggur dan bir. Penggunaan asam asetat sebagai reagen kimia telah dicatat sejak abad ke-3 SM oleh Theophrastus, seorang filsuf Yunani kuno. Ia mengemukakan bahwa asam asetat dapat bereaksi dengan logam untuk menghasilkan senyawa seperti timbal putih dan verdigris, yaitu senyawa berwarna hijau yang terkandung zat tembaga (II) asetat.

Mengacu pada abad ke-8, seorang ilmuwan dari Persia, Jabir Ibnu Hayyan berhasil memperoleh asam asetat murni dari kandungan cuka dengan metode distilasi. Metode produksi asam asetat glasial, yakni dengan metode distilasi kering zat logam asetat, mulai dikenal selama era Renaisans. Masuk abad ke-16, Andreas Libavius, ilmuan kimia Jerman, mengamati perbedaan sifat antara asam asetat glasial dan larutan asam asetat biasa. Hal ini menimbulkan anggapan bahwa keduanya adalah senyawa yang berbeda, hingga Pierre Adet, seorang kimiawan Prancis, membuktikan bahwa mereka sebenarnya merupakan zat yang sama.

Herman Kolbe, seorang ahli kimia Jerman, melakukan sintesis asam asetat menggunakan bahan anorganik pada tahun 1847. Ia menggunakan reaksi klorinasi karbon disulfida untuk menghasilkan karbon tetraklorida, yang kemudian melalui proses pirolisis berubah menjadi tetrakloroetilena. Zat ini selanjutnya dikonversi menjadi trikloroasetat melalui reaksi dengan air dan dikurangi melalui elektrolisis untuk menghasilkan asam asetat. Pada awal abad ke-20, tepatnya sejak 1910, produksi asam asetat dilakukan dari hasil distilasi kayu yang memproduksi cairan piroligneous. Cairan ini bereaksi dengan kalsium asetat, lalu proses pengasaman dengan H_2SO_4 , memperoleh 10.000 ton senyawa asam asetat di kala itu.

Seiring perkembangan teknologi, senyawa CH_3OH dan CO dijadikan sebagai bahan dasar dalam manufaktur asam asetat. Proses karbonilasi metanol menarik banyak perhatian dalam pembuatan senyawa ini. Henri Dreyfus pada *British Celanese*, pada tahun 1925, menginisiasi pabrik proses karbonilasi metanol,

meskipun keberhasilannya terbatas oleh kurangnya bahan kimia praktis untuk menampung cairan korosif pada tekanan tinggi. Proses karbonilasi metanol ini secara komersial pertama kali diterapkan oleh industri kimia dari Jerman, BASF, di tahun 1963, dengan menggunakan *cobalt* sebagai katalis. Katalis *rhodium* juga ditemukan serta kemampuannya dalam beroperasi secara efisien dalam proses sistem. Katalis *rhodium* diinisiasikan pada tahun 1968 dan mampu beroperasi secara efisien dalam proses ini. Sebuah perusahaan kimia asal Amerika Serikat, *Monsanto Company*, merancang metode produksi asam asetat melalui karbonilasi metanol dengan memanfaatkan katalis berbasis rhodium.

1.3. Tujuan dan Manfaat Pendirian Pabrik Asam Asetat

Pendirian pabrik asam asetat di Indonesia ditujukan untuk memenuhi kebutuhan domestik sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap impor. Langkah ini menjadi penting mengingat permintaan asam asetat di Indonesia terus mengalami peningkatan. Selain itu, keberadaan pabrik ini diharapkan menciptakan peluang baru bagi industri kimia yang memanfaatkan asam asetat sebagai bahan baku utama, sehingga dapat mendorong terjadinya inovasi dan peningkatan efisiensi di sektor tersebut.

Pengembangan pabrik asam asetat di Indonesia diharapkan dapat mempengaruhi finansial lokal dengan mengadakan pekerjaan baru untuk masyarakat daerah sekitar. Membangun kemampuan Indonesia sebagai eksportir asam asetat akan memungkinkan negara ini untuk meningkatkan devisa dan memperkuat posisinya di pasar global. Langkah ini juga akan mendukung pembangunan berkelanjutan melalui optimalisasi sumber daya domestik dan pengurangan dampak lingkungan dari impor.

1.4. Data Sifat Fisika dan Kimia

1.4.1. Data Produk

1.4.1.1. Data Asam Asetat

1) Sifat Fisik

Rumus Kimia Senyawa : CH_3COOH

Berat Molekul Senyawa : 60,05 g/mol

Wujud Senyawa : Cairan non-warna

Berat Jenis : 1,049 gr/cm³ (kondisi atmosfer)

Titik Beku	: 16,60 °C (289,75 K)
Titik Didih	: 117,90 °C (391,05 K)
Suhu Kritik	: 592,7 K
Tekanan Kritik	: 57,9 bar
Kalor Penguapan	: 96,8 kkal/kmol

(Sumber: *Haryati dan Bustan*, 2022)

2) Sifat Kimia

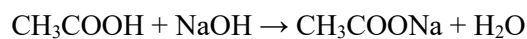
a) Asam dan Basa

Senyawa ini termasuk asam lemah terdisosiasi sebagian di dalam larutan, menghasilkan ion asetat (CH_3COO^-) dan ion hidrogen (H^+).

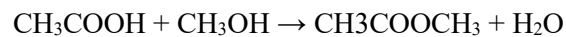
(Sumber: *Atkins dan Paula*, 2014)

b) Reaktivitas

Asam asetat bereaksi dengan natrium hidroksida (basa) untuk membentuk natrium asetat dan air (netralisasi).



Asam asetat bereaksi dengan metanol untuk membentuk metil asetat dan air (esterifikasi).



(Sumber: *Vollhardt dan Schore*, 2018)

c) Hazard

Asam asetat memiliki sifat *corrosive* (korosif), karena dapat menyebabkan kerusakan pada kulit dan jaringan tubuh serta merusak bahan lainnya.



Asam asetat memiliki sifat *flammable* (mudah terbakar), karena dalam konsentrasi tinggi dapat mudah terbakar.



(Sumber: *Material Safety Datasheet*)

1.4.2. Data Bahan Baku

1.4.2.1. Data Metanol

1) Sifat Fisik

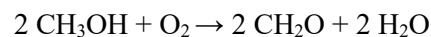
Rumus Kimia Metanol	: CH ₃ OH
Berat Molekul Metanol	: 32,04 g/mol
Wujud Metanol	: Cairan non-warna
Berat Jenis	: 0,792 gr/cm ³ (kondisi atmosfer)
Titik Beku	: -97,70 °C (175,45 K)
Titik Didih	: 64.60 °C (337,75 K)
Suhu Kritik	: 512,6 K
Tekanan Kritik	: 80,9 bar
Kalor Penguapan	: 8.426,00 kkal/kmol

(Sumber: *Haryati dan Bustan, 2022*)

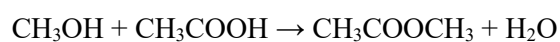
2) Sifat Kimia

a) Reaktivitas

Metanol dioksidasi menjadi formaldehid (CH₂O) dan air. Reaksi ini sering terjadi dalam kondisi oksidatif dengan bantuan katalis.



Metanol bereaksi dengan asam asetat untuk membentuk metil asetat dan air. Berikut adalah contoh reaksi esterifikasi.



(Sumber: *Vollhardt dan Schore, 2018*)

c) *Hazard*

Metanol memiliki sifat *flammable* (berbahaya terbakar), karena mudah terbakar.



Metanol memiliki sifat *toxic* (beracun), karena dapat menyebabkan keracunan bila tertelan atau terhirup.



Metanol memiliki sifat *carcinogenic* (karsinogen), karena dapat menyebabkan efek kesehatan yang serius.



(Sumber: *Material Safety Datasheet*)

1.4.2.2. Data Karbon Monoksida

1) Sifat Fisik

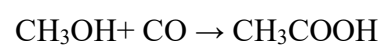
Rumus Kimia	: CO
Berat Molekul	: 28,01 g/mol
Wujud	: Gas non-warna
Densitas	: 1,250 gr/cm ³ (kondisi atmosfer)
Titik Beku	: -205,10 °C (68,05 K)
Titik Didih	: -191,50 °C (81,65 K)
Suhu Kritik	: 132,9 K
Tekanan Kritik	: 35,9 bar
Kalor Penguapan	: 1.444,00 kkal/kmol

(Sumber: *Haryati dan Bustan, 2022*)

2) Sifat Kimia

a) Reaktivitas

Metanol dan karbon monoksida bereaksi dalam proses karbonilasi untuk menghasilkan asam asetat.



(Sumber: *Miessler dan Fischer, 2014*)

c) *Hazard*

Karbon monoksida memiliki sifat *flammable* (berbahaya terbakar), karena mudah terbakar.



Karbon monoksida memiliki sifat *toxic* (beracun), karena dapat menyebabkan keracunan bila tertelan atau terhirup.



Karbon monoksida memiliki sifat *carcinogenic* (karsinogen), karena dapat menyebabkan efek kesehatan yang serius bila terpapar.



(Sumber: *Material Safety Datasheet*)

1.4.3. Katalis

1.4.3.1. Iridium

1) Sifat Fisik

Rumus Kimia	: Ir-La/C
Berat Molekul	: 165,56 g/mol
Wujud	: Padat (kecoklatan)
Berat Jenis	: 1,02 g/cm ³
Titik Lebur	: 22 °C (295,73 K)
Titik Didih	: 210,5 °C (483,65 K)

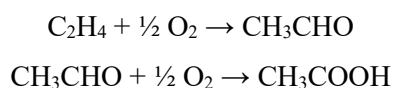
(Sumber: www.americanelements.com)

1.5. Proses Pembuatan Asam Asetat

Berbagai proses telah dikembangkan oleh industri ternama dalam memproduksi senyawa asam asetat. Secara tradisional, metode secara termokatalitik mendominasi di sektor industri kimia, terutama karbonilasi metanol. Namun demikian, metode lain untuk memproduksi asam asetat sebagai berikut:

1.5.1. Reaksi Oksidasi Asetaldehida

Proses ini melibatkan asetaldehida yang berasal dari stok minyak bumi dioksidasi untuk menghasilkan asam asetat dengan adanya katalis mangan atau kobalt asetat heterogen. Proses ini, dengan *yield* lebih dari 90%, diperluas lebih lanjut sebelum ditemukannya karbonilasi metanol. Penggunaan katalis organo-merkuri menimbulkan dampak lingkungan yang sangat besar karena toksisitas bahan ini, sehingga membatasi penggunaan katalis lain (Pal dan Nayak, 2017).



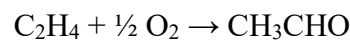
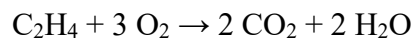
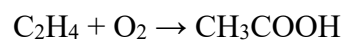
1.5.2. Proses Oksidasi Hidrokarbon

Sintesis langsung senyawa asam asetat melalui oksidasi hidrokarbon dianggap sebagai metode yang bisa diterapkan. Sebuah data melaporkan bahwa sekitar 9% asam asetat yang diproduksi di seluruh dunia disintesis melalui oksidasi hidrokarbon. Namun, pemisahan pada bagian *downstream* merupakan proses yang kompleks dan memerlukan energi karena selektivitasnya yang rendah. Meskipun demikian, proses oksidasi langsung telah dikomersialkan, misalnya menggunakan nafta oleh BP, atau menggunakan n-butana oleh Celanese (Sano dkk, 1999).

Oksidasi katalitik fase cair langsung dari butana merupakan teknik yang paling diminati dalam menghasilkan asam asetat karena dari segi biaya hidrokarbon yang cukup rendah. Proses ini melibatkan titik kritis butana pada 152 °C dan tekanan pada 38 bar (John Wiley & Sons, Inc., 2000), tetapi gagal pada pemberian asam asetat yang selektif. Meskipun demikian, ini merupakan proses yang cocok diterapkan untuk beberapa aplikasi (Budiman dkk, 2016).

Proses oksidasi katalitik fase uap secara langsung dari etilen untuk menghasilkan asam asetat telah menarik perhatian karena sedikitnya limbah tidak beracun yang dihasilkan. Proses satu langkah ini terdiri dari satu reaksi utama dan dua reaksi samping. Proses pemurniannya memerlukan banyak energi karena banyaknya air yang dibutuhkan dan banyaknya produk samping yang terbentuk

(Budiman dkk, 2016). Showa Denko K.K. menemukan Solusi dalam mengatasi masalah utama tersebut dengan mematenkan proses bebas air dengan menggabungkan katalis berbasis paladium dengan asam heteropoli. Berdasarkan hal tersebut, dilaporkan hanya sedikit limbah tidak beracun yang dihasilkan karena selektivitas reaksi yang tinggi, dan sejumlah kecil air limbah yang dihasilkan. Keuntungan besar lainnya dari proses ini adalah penggunaan bahan standar karena tidak ada senyawa korosif yang diproses kecuali asam asetat. Metode ini dapat bersaing dengan proses karbonilasi metanol untuk pabrik skala kecil (100–250 kT year⁻¹), bergantung pada harga senyawa etilen (Sano dkk, 1999).



Metode lainnya antara lain oksidasi parsial etana. Katalis berbahan dasar molibdenum-vanadium, pada kondisi suhu 220–300 °C dan tekanan 12–15 bar, telah banyak diteliti (Pal dan Nayak, 2017). Terlepas dari kemajuan penelitian, konversi dan selektivitas dibatasi karena adanya batasan oksigen dalam proses untuk alasan keamanan, karena oksigen harus dijaga di bawah ambang ledakan (Budiman dkk, 2016).



Meskipun beberapa proses ini menarik dalam memproduksi asam asetat, produksi pasar, seperti disebutkan sebelumnya, utamanya berfokus pada karbonilasi metanol, yang mewakili sekitar 80–90% dari total produksi (Shah, 2014).

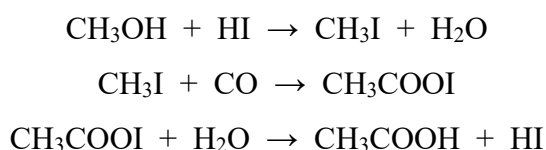
1.5.3. Karbonilasi metanol

Metode karbonilasi metanol digunakan untuk menghasilkan asam asetat melibatkan reaksi antara CH₃OH dan CO. Proses ini bersifat eksotermik, di mana karbon monoksida diperoleh dari *syngas*. Secara termodinamika, reaksi ini memungkinkan pembentukan asam asetat pada kondisi suhu ruang. Namun, peningkatan suhu diperlukan untuk mempercepat kinetika reaksi, sementara tekanan sedang diterapkan untuk memastikan perolehan hasil yang optimal.



Beberapa kompleks logam organik homogen telah digunakan secara industrial untuk proses karbonilasi metanol, seperti katalis homogen berbasis kobalt, rhodium, rutenium atau iridium. Bahan tersebut beroperasi pada suhu berkisar 150–300 °C dan tekanan di bawah 60 bar (Budiman dkk, 2016). Secara umum, keberadaan air dengan konsentrasi tinggi diperlukan karena kelarutan katalis dapat ditingkatkan, tetapi situasi ini juga memfasilitasi reaksi samping yaitu Pergeseran Air-Gas (WGS), yang bersaing dengan karbonilasi, sehingga menghasilkan serapan CO yang lebih rendah untuk reaksi tersebut (Haynes, 2006).

Asam asetat pertama kali dikomersialkan melalui karbonilasi metanol pada tahun 1960. BASF menemukan bahwa keberadaan metil iodida diperlukan untuk mengubah metanol menjadi asam asetat (Ludwigshafen dan Friderich, 1957). Jika dalam kondisi tidak ada, maka CO akan cenderung masuk ke dalam ikatan O-H metanol, dari ikatan C-O (Thomas, 2003). Persamaan-persamaan berikut ini menunjukkan tahapan utama dalam proses tersebut.



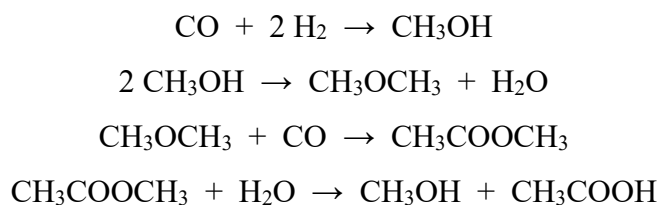
Pendekatan pertama ini dibenahi melalui proses Monsanto (Schultz, 1973) dan proses Cativa (David dkk, 1997). Monsanto, di pertengahan tahun 60-an, meningkatkan proses BASF, memperoleh selektivitas asam asetat yang sangat baik hingga 99 % dalam kondisi operasi yang lebih ringan, sekitar 30–60 bar dan 150–200 °C. Proses Monsanto melibatkan penggunaan katalis homogen berbasis rhodium dengan mempromosikan metil iodida dalam sistem, yang meningkatkan aktivitas katalitik yang diperoleh dengan katalis BASF berbasis kobalt. Tahapan pada proses ini yang paling membutuhkan energi adalah produksi CO dan H₂ (*syngas*), yang digunakan sebagai zat *intermediate* (Thomas, 2003). Langkah ini biasanya dilakukan melalui reformasi uap gas alam, dengan menghasilkan banyak karbon yang merupakan penyumbang dampak lingkungan yang besar. Mekanisme reaksi katalitik proses Monsanto diusulkan terdiri dari enam langkah siklik. Tahapan utama proses siklik ini di antaranya adisi oksidatif dan selektif metil iodida pada kompleks rhodium ([Rh(CO)₂I₂]) sebagai penentu laju, yang konsisten dengan kinetika yang diamati. Proses ini beroperasi di bawah air berlebih sebesar

14–15% berat, yang diperlukan untuk meningkatkan aktivitas katalitik dan menjaga stabilitas katalis berbasis rhodium. Konsentrasi air yang optimal diperlukan untuk menghindari pembentukan dan akumulasi senyawa tidak aktif $[\text{Rh}(\text{CO})_2\text{I}_4]^-$, yang berasal dari intermediat $[\text{Rh}(\text{CO})_2\text{I}_3\text{H}]^-$ yang kurang stabil, serta untuk mencegah terjadinya pengendapan garam RhI_3 yang tidak aktif di bagian *posterior*. (Kalck dkk, 2020).

Monsanto juga menemukan bahwa iridium merupakan katalis yang efektif untuk karbonilasi metanol pada akhir tahun 60-an (Paulik dan Roth, 1968). Namun, sistem katalitik ini belum dikembangkan secara komersial oleh BP hingga awal tahun 1990-an, dengan sebutan proses *Eastman*. Gugus Iridium bertindak sebagai pusat aktif dengan menggunakan spesies rutenium sebagai promotor dengan adanya metil iodida (Ren dkk, 2020). Keuntungan utama dari proses ini adalah stabilitasnya yang unggul dan pengoperasiannya menggunakan jumlah air yang lebih sedikit hingga 5 % berat (Tu dkk, 2021). Jika dibandingkan dengan rhodium, pengendapan iridium IrI_3 lebih jarang terjadi karena ikatan logam-ligan yang lebih kuat pada logam baris ketiga, sehingga menghambat hilangnya CO dari pusat Ir (Haynes, 2006). Kompleks $[\text{Ru}(\text{CO})_3\text{I}_2]^-$ yang ditambahkan dapat mereaksikan iodida dari $[\text{MeIr}(\text{CO})_2\text{I}_3]^-$ secara efisien untuk mempercepat tahap koordinasi karbonil, sehingga meningkatkan reaksi metil asetat dan hidrogen iodida menjadi asam asetat dan metil iodida. Proses *Eastman* dianggap sebagai proses yang lebih efisien dan ramah lingkungan dibandingkan proses Monsanto sebelumnya (Kalck dkk, 2020). Secara umum, proses karbonilasi metanol untuk memproduksi asam asetat BASF,

Berbeda dengan Chiyoda/*Universal Oil Products* (UOP) dan KBR yang telah mengkomersialkan proses yang disebut proses Acetica. Katalis berbasis rhodium homogen yang terheterogenisasi digunakan, menunjukkan aktivitas tinggi serta stabilitas jangka panjang dan pembersihan rhodium yang tidak signifikan. Kunci dari peningkatan fitur proses ini adalah penggunaan resin polimer baru, resin polivinil piridin (PVP), untuk melemahkan katalis, yang mendominasi dan juga memfasilitasi pemisahan campuran reaksi. Data menjelaskan bahwa aktivitas katalis dipertahankan setelah kurang lebih 7000 jam dengan kandungan air total berkurang dengan kisaran antara 3 - 8 % berat (Haynes, 2006).

BP mematenkan proses fase uap *multi-step* baru pada tahun 2010 untuk produksi asam asetat dalam skala besar, yang disebut proses *SaaBre*. Pengaplikasian strategi BP yang baru ini dengan satu-satunya bahan mentah dalam proses ini adalah *syngas* (Deshmukh dan Manyar, 2020). *Syngas* ini dapat diproduksi secara industri melalui *steam reforming* gas alam (Cheung et al., 2000). Skema tiga langkah ini mirip dengan skema yang diusulkan di tempat lain oleh *Haldor-Topsøe* (Joensen dkk, 1998). Langkah pertama adalah sintesis metanol melalui hidrogenasi CO menggunakan *syngas*, yang selanjutnya diubah menjadi dimetil eter (DME). Langkah kedua terdiri dari karbonilasi DME, menghasilkan metil asetat (MA). Akhirnya, metil asetat antara didehidrasi dan dihidrolisis menjadi asam asetat dan metanol molar yang setara. Keuntungan yang dilaporkan oleh *BP process* ini, dibandingkan dengan metode karbonilasi lainnya, yaitu dapat menghilangkan pemisahan logam mulia yang homogen dan, akibatnya, konsumsi energi lebih rendah dan pemisahan lebih mudah, sehingga mengurangi kerusakan lingkungan akibat proses tersebut (Budiman dkk, 2016). Meskipun demikian, pengembangan metode alternatif lainnya, katalis dan strategi yang berkelanjutan diperlukan untuk mengurangi biaya produksi asam asetat dalam industri berskala besar serta mampu mengurangi dampak terhadap lingkungan.



Semua bahan baku proses reaksi industri untuk produksi asam asetat ini dapat berasal dari minyak bumi, seperti metanol, asetaldehida, etilen, butana atau *syngas*. Selain itu, pembuangan limbah kimia secara langsung dapat menyebabkan masalah lingkungan yang buruk. Selain itu, sebagian besar katalis yang digunakan pada proses ini mahal dan memerlukan regenerasi berkelanjutan (Pal dan Nayak, 2017). Kondisi operasi yang tinggi dan jumlah energi yang dibutuhkan untuk mensintesis asam asetat, memicu alternatif dan inovasi untuk mencapai proses baru, lebih ringan, dan ramah lingkungan dengan mengurangi konsumsi energi berlebih.

Berdasarkan uraian proses di atas, dapat dibuat perbandingan metode pembuatan asam asetat, antara proses karbonilasi metanol, oksidasi n-butana, dan

oksidasi asetaldehida. Pertimbangan dalam pemilihan metode pembuatan asam asetat bisa ditinjau pada Tabel 1.1 sebagai berikut.

Tabel 1.1. Perbandingan Proses Produksi Asam Asetat

No.	Parameter	Oksidasi	Oksidasi n-	Karbonilasi Metanol		
		Asetaldehida	butana	BASF	Mosanto	Eastman
1.	Bahan Baku	Asetaldehida	n-Butana	Metanol dan CO	Metanol dan CO	Metanol dan CO
2.	Kondisi	T: 50 – 60 °C	T: 150 - 230 °C	T: 230 °C	T: 150 - 200 °C	T: 150 – 250 °C
	Operasi	P: 1 atm	P: 50 - 60 atm	P: 600 atm	P: 60 atm	P: 15 - 30 atm
3.	Katalis	Mangan	Cobalt	Cobalt	Rhodium	Iridium
4.	Yield	95 %	50 %	90 %	99 %	99 %
5.	Konversi	94 %	98 %	-	90 %	92 %
6.	Selektivitas	-	-	90 %	95 %	98 %

Berdasarkan Tabel 1.1. dapat disimpulkan bahwa proses karbonilasi metanol dengan menggunakan katalis berbasis iridium memiliki keunggulan dengan nilai konversi sebesar 92% dan *yield* sebesar 99%. Proses karbonilasi metanol dengan katalis iridium juga menggunakan kondisi operasi yang rendah dimana suhu operasi berada pada rentang 150 – 250 °C dan tekanan pada rentang 15 - 30 atm. Proses karbonilasi metanol dengan katalis iridium memiliki keunggulan lain yaitu tidak perlu promotor katalis seperti metil iodida (MeI) dengan menghasilkan sedikit produk samping. Selain itu, pengaplikasian katalis ini juga lebih efisien dari proses Mosanto dan biaya katalis lebih murah. Hal ini menjadikan proses karbonilasi metanol dengan katalis berbasis iridium dipilih dalam pembuatan pabrik asam asetat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alibaba. 2024. *Carbon Monoxide Price*. (Online), www.alibaba.com. (Diakses pada 17 Juli 2024).
- Alibaba, 2024. *Methanol Industrial Price*. (Online). www.alibaba.com. (Diakses pada 17 Juli 2024).
- American Elements. 2024. *Iridium Solution*. (Online). www.americanelements.com. (Diakses pada 17 Juli 2024).
- Atkins, P. dan Paula, J. 2014. *Physical Chemistry (10th edition)*. Inggris: Oxford.
- Badan Pusat Statistika. 2017. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Badan Pusat Statistika. 2018. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Badan Pusat Statistika. 2019. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Badan Pusat Statistika. 2020. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Badan Pusat Statistika. 2021. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Badan Pusat Statistika. 2022. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Badan Pusat Statistika. 2023. *Data Ekspor dan Impor Bahan Industri*. (Online). <https://www.bps.go.id>. (Diakses pada tanggal 15 Juni 2024).
- Bank Indonesia. 2024. *Foreign Exchange Rates*. (Online). <http://www.bi.go.id/en/moneter/informasi-kurs/transaksi-bi.aspx>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Budiman, A. W., Nam, J. S., Park, J. H., Mukti, R. I., Chang, T. S., Bae, J. W., dan Choi, M. J. 2016. *Review of Acetic Acid Synthesis from Various Feedstocks Through Different Catalytic Processes*. Vol. 20: 173–193.
- Cheung, H., Tanke, R. S., dan Torrence, G. P. 2000. *Acetic acid*. New Jersey: Wiley.
- Deshmukh, G. dan Manyar, H. 2020. Production Pathways of Acetic Acid and Its Versatile Applications in the Food Industry. *Biotechnological Applications of Biomass*. Vol. 10: 11-21.

- Choirunnisa dan Mustain. 2022. Penentuan Kapasitas Produksi dan Seleksi Proses Pra-Rancangan Pabrik Kimia Bioetanol Gel Kapasitas 5000 Ton/Tahun. *Jurnal Teknologi Distilasi*. Vol. 8(1): 86-93.
- Coulson & Richardson. 1993. *Chemical Engineering Volume 6 3th Edition*. Elsevier: Buttenworth-Heinemann.
- David, S., Bernard, J., Watson, D. J., dan Williams, B. L. 1997. *Process for the Production of Acetic Acid*. (Patent EP No. 0573189A1). BP Chemicals Ltd. <https://patents.google.com/patent/US5416237A/en>.
- Frontmen, G. F., dkk. 2011. *Chemical Reactor Analysis and Design 3th edition*. New Jersey: John Wiley and Sons Inc.
- Geankoplis, C. J. 1993. *Transport Processes and Unit Operations 3th edition*. New Jersey: Prentice Hall International Inc.
- Google Earth. 2024. *Peta Lokasi Pabrik*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Earth. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Utilitas Air*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Earth. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Produsen Monomer Vinil Asetat*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Earth. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Produsen Asam Tereftalat*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Earth. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Produsen Etil Asetat*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Maps. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Bahan Baku Metanol*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Maps. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Bahan Baku Karbon Monoksida*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Maps. 2024. *Jarak Lokasi Pabrik ke Utilitas Bahan Bakar*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Maps. 2024. *Pemasaran Jalur Udara*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Goggle Maps. 2024. *Pemasaran Jalur Laut*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).

- Goggle Maps. 2024. *Pemasaran Jalur Darat*. <https://earth.google.com/>. (Diakses pada 22 Juni 2024).
- Haynes, A. 2006. Acetic Acid Synthesis by Catalytic Carbonylation of Methanol. *Top Organometallic Chemical*. Vol. 18: 179–205.
- Haryati, S. dan Bustan. M. D. 2022. *Proses Industri Kimia*. Palembang: Penerbit Unsri.
- Ismail, S. 1996. *Alat Industri Kimia*, Cetakan Ketiga. Palembang: Penerbit Unsri.
- Ismail, S. 2000. *Kinetika Kimia*, Cetakan Ketiga. Palembang: Penerbit Unsri.
- James, A. 2001. *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan Bahan (Edisi Ketiga)*. Palembang: Penerbit ITB Bandung.
- Joensen, F., Voss, B., dan Dybkjaer, I. 1998. *Process for the preparation of acetic acid*. (Paten US No. 5728871A). Texaco Development Corporation. <https://patents.google.com/patent/US5728871A/en#patentCitations>.
- John Wiley and Sons, Inc. 2000. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New Jersey: Wiley.
- Kalck, P., Le Berre, C., & Serp, P. 2020. Recent advances in the methanol carbonylation reaction into acetic acid. *Coordination Chemistry Reviews*. Vol. 402:213078.
- Kern, D. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. Auckland: McGraw-Hill International Edition.
- Levenspiel, O. 1999. *Chemical Reaction Engineering 3th edition*. New York: Wiley India Pvt. Limited.
- Ludwig, E. E., 1997. *Applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2, Third Edition*. Gulf Publishing Co: Houston.
- Ludwigshafen, W. R., dan Friderich, H. 1957. *Acetic acid anhydride*. (Paten US No. 2789137A). BASF SE. <https://patents.google.com/patent/US2789137A/en>.
- Matches Engineering. 2024. *Equipment Cost Index*. <http://www.matche.com>. (Diakses pada tanggal 25 Juni 2024).
- McCabe, W. L. et al. 2005. *Unit Operation of Chemical Engineering 7th Edition*. Mc Graw Hill.
- Miessler, G. L., Fischer, P. J., dan Tarr, D. A. 2014. *Inorganic Chemistry (5th edition)*. Inggris: Pearson.

- Pal, P. dan Nayak, J. 2017. *Acetic Acid Production and Purification: Critical Review Towards Process Intensification*. Vol. 46: 44–61.
- Paulik, F. E. dan Roth, J. F. 1968. *Novel Catalysts for the Low-Pressure Carbonylation of Methanol to Acetic Acid*. London: Chemical Communication.
- Perry, R. H. and Green D. 1997, *Perry's Chemical Engineers' Handbook, 7th Edition*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Peter, M. S. and Timmerhaus, K. D. 1991. *Plant Design and Economic for Chemical Engineering, 4th Edition*. New York: Mc Graw Hill International Book Co.
- Ren, Z., Lyu, Y., Song, X., dan Ding, Y. 2020. Review of Heterogeneous Methanol Carbonylation to Acetyl Species. *Applied Catalyst A: General*. Vol. 595: 117488.
- Sano, K., Uchida, H., dan Wakabayashi, S. 1999. *A New Process for Acetic Acid Production by Directoxidation of Ethylene*. Vol. 3: 55–60.
- Schultz, R. 1973. *Production of Carboxylic Acids and Esters*. (Patent US No. 3717670A). Monsanto Co. <https://patents.google.com/patent/US3717670A/en>.
- Shah, K. 2014. *Acetic Acid: Overview & Market Outlook*. New Delhi: Indian Petrochem Conference.
- Smith, J. M. dan H. C. Van Ness. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, Sixth Edition*. Mc Graw-Hill Book Co: New York.
- Thomas, C. 2003. Ligand Effects in the Rhodium-Catalyzed Carbonylation of Methanol. *Coordination Chemical Reviews*. Vol. 243: 125–142.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass Transfer Operations, 3rd Edition*. Rhode Island: McGraw-Hill Book Co.
- Tu, C., Nie, X., dan Chen, J. G. 2021. Insight Into Acetic Acid Synthesis from the Reaction of CH₄ And CO₂. *ACS Catalyst*. Vol. 11: 3384–3401.
- Van Winkle, M. 1967. *Distillation*. New York: McGraw-Hill.
- Vilbrandt, F. C., dan Dryden, C. E. 1959. *Chemical Engineering Plant Design*. New York: McGraw-Hill.
- Vollhardt, K. P. C. dan Schore, N. E. 2018. *Organic Chemistry: Structure and Function (8th edition)*. New York: Macmillan Learning.

Walas, S. M. 1988. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. USA: Butterworth Publishers.

Yaws, C. L. 1997. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Yaws, C. L. 1999. *Chemical Properties Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Yaws, C. L. 2005. *Chemical Properties Handbook*. Texas: McGraw-Hill Book.